(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7165978号
(P7165978)

(45)発行日　令和4年11月7日(2022.11.7)

(24)登録日　令和4年10月27日(2022.10.27)

(51)国際特許分類

H01G 11/36 (2013.01)		H01G	11/36
H01G 11/60 (2013.01)		H01G	11/60
H01G 11/62 (2013.01)		H01G	11/62
H01G 11/86 (2013.01)		H01G	11/86
H01G 11/46 (2013.01)		H01G	11/46

FI

請求項の数　33　（全78頁）

(21)出願番号　特願2018-535031(P2018-535031)
(86)(22)出願日　平成29年1月25日(2017.1.25)
(65)公表番号　特表2019-506738(P2019-506738A)
(43)公表日　平成31年3月7日(2019.3.7)
(86)国際出願番号　PCT/US2017/014979
(87)国際公開番号　WO2017/132282
(87)国際公開日　平成29年8月3日(2017.8.3)
審査請求日　令和1年12月19日(2019.12.19)
(31)優先権主張番号　62/287,402
(32)優先日　平成28年1月26日(2016.1.26)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　62/287,403
(32)優先日　平成28年1月26日(2016.1.26)
最終頁に続く

(73)特許権者　506115514
ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ カリフォルニア
The Regents of the University of California
アメリカ合衆国，カリフォルニア州 ９４６０７－５２００，オークランド，フランクリン ストリート １１１１，１２番 フロア
(74)代理人　100078282
弁理士　山本 秀策
(74)代理人　100113413
弁理士　森下 夏樹
(72)発明者　ドゥアン， シアンフェン
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　スーパーキャパシタのためのグラフェンフレームワーク

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

穴のある３Ｄグラフェンフレームワークを含む電極であって、

ａ）多孔質構造を有する穴のあるグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造であって、ここで、ナノ細孔が前記穴のあるグラフェンシート内に形成される、導電性網状構造と、

ｂ）硫黄粒子を含む容量性または擬似容量性材料を含む複合材料であって、ここで、前記硫黄粒子が、前記穴のあるグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造内に封入され、ここで、前記封入が多硫化物シャトリングを阻止し、そしてここで、前記電極が、前記電極の総重量または質量の少なくとも６０重量％または質量％の硫黄含量を有する、複合材料と

を含む、電極。

【請求項２】

約４５０m^2／ｇから約３，０００m^2／ｇの比表面積を有する、請求項１に記載の電極。

【請求項３】

約３０％から約９９％の負荷率を有する、請求項１に記載の電極。

【請求項４】

約５００サイクルから約２，０００，０００サイクルのサイクル寿命を有する、請求項１に記載の電極。

【請求項５】
約０．１のＣレートで、約２５０ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する、請求項１に記載の電極。
【請求項６】
約９０％から約９９％の多孔率を有する、請求項１に記載の電極。
【請求項７】
約０．００２μｍから約１００，０００μｍの細孔直径を有する、請求項１に記載の電極。
【請求項８】
前記複合材料が、ケイ素、硫黄、Nb_2O_5、Al_2O_3、V_2O_5、Re_2O_7、CrO_3、CeO_2、RuO_2、ZrO_2、MoO_3、WO_3、TiO_2、またはこれらの任意の組合せを含む、請求項１に記載の電極。
【請求項９】
ａ）第１の電極および第２の電極と、
ｂ）電解質と
を含むエネルギー貯蔵デバイスであって、
ここで、前記第１の電極が、穴のある３Ｄグラフェンフレームワークを含み、ここで、前記穴のある３Ｄグラフェンフレームワークが、穴のあるグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含み、ここで、ナノ細孔が前記穴のあるグラフェンシート内に形成され、そして
ここで、前記第１の電極が、硫黄粒子を含む容量性または擬似容量性材料を含む複合材料をさらに含み、ここで、前記硫黄粒子が、前記穴のあるグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造内に封入され、ここで、前記封入が多硫化物シャトリングを阻止し、そしてここで、前記第１の電極が、前記第１の電極の総重量または質量の少なくとも６０重量％または質量％の硫黄含量を有する、
エネルギー貯蔵デバイス。
【請求項１０】
前記電解質が、ヘキサフルオロリン酸リチウム、ヨードメタン、硫酸ジメチル、炭酸ジメチル、塩化テトラメチルアンモニウム、メチルトリフレート、ジアゾメタン、フルオロスルホン酸メチル、酢酸エチル、アセトン、ジメチルホルムアミド、アセトニトリル、ジメチルスルホキシド、ニトロメタン、炭酸プロピレン、炭酸エチレン、リチウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミド、１－２ジメトキシエタン、１，３－ジオキソラン、硝酸リチウム、またはこれらの任意の組合せを含む、非水性電解質である、請求項９に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
【請求項１１】
約１６Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する、請求項９に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
【請求項１２】
約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する、請求項９に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
【請求項１３】
約１６Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する、請求項９に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
【請求項１４】
約０．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する、請求項９に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
【請求項１５】
約１ｍＦから約１０Ｆの全キャパシタンスを有する、請求項９に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
【請求項１６】

ａ）酸化グラフェンおよび第１の溶媒の溶液を形成すること、
ｂ）前記溶液を加熱して、穴のある酸化グラフェンを形成すること、
ｃ）前記溶液中の前記穴のある酸化グラフェンを遠心分離すること、
ｄ）前記穴のある酸化グラフェンを、第２の溶媒中で洗浄すること、
ｅ）前記穴のある酸化グラフェンの分散体を第３の溶媒中で形成すること、および
ｆ）前記分散体に酸を添加して、穴のある酸化グラフェンフレームワークを形成することを含む、電極を構成する方法。

【請求項１７】
電極をロールツーロール法で連続的に形成することが可能である、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項１８】
前記溶液中の酸化グラフェンの濃度が、約１．１５ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌである、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項１９】
前記第１の溶媒が、酸素、オゾン、過酸化水素、二酸化フルオライト、過酸化リチウム、過酸化バリウム、フッ素、塩素、硝酸、硝酸塩化合物、硫酸、ペルオキシ二硫酸、ペルオキシ一硫酸、亜塩素酸塩、塩素酸塩、過塩素酸塩、ハロゲン化合物次亜塩素酸塩、次亜ハロゲン酸塩化合物、家庭用漂白剤、６価クロム化合物、クロム酸、二クロム酸、三酸化クロム、クロロクロム酸ピリジニウム、クロム酸化合物、二クロム酸化合物、過マンガン酸化合物、過マンガン酸カリウム、過ホウ酸ナトリウム、亜酸化窒素、硝酸カリウム、ビスマス酸ナトリウム、またはこれらの任意の組合せを含む酸化剤を含む、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項２０】
前記溶液が、約５０℃から約２００℃の温度に加熱される、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項２１】
前記第２の溶媒および前記第３の溶媒の少なくとも１つが、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、またはこれらの任意の組合せを含む、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項２２】
前記酸が、ギ酸酢酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、またはこれらの任意の組合せを含む弱酸を含む、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項２３】
前記穴のある酸化グラフェンフレームワークを、鋼、ステンレスニッケル、アルミニウム、銅、ビスマス、クロム、コバルト、ガリウム、金、鉄、インジウム、鉛、マグネシウム、水銀、銀、ナトリウム、スズ、チタン、亜鉛、ジルコニウム、青銅、またはこれらの任意の組合せを含む金属フォーム上に押圧することをさらに含む、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項２４】
前記穴のある酸化グラフェンフレームワークを、
ａ）銀、銅、金、アルミニウム、カルシウム、タングステン、亜鉛、タングステン、黄銅、青銅、ニッケル、リチウム、鉄、白金、スズ、炭素鋼、鉛、チタン、ステンレス鋼、水銀、クロム、ヒ化ガリウム、もしくはこれらの任意の組合せを含む金属膜、または
ｂ）ポリフルオレン、ポリフェニレン、ポリピレン、ポリアズレン、ポリナフタレン、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、ポリピロール、ポリカルバゾール、ポリインドール、ポリアゼピネム、ポリアニリン、ポリチオフェン、ポリ３，４－エチレンジオキシチオフェン、ポリｐ－フェニレンスルフィド、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、もしくはこれらの任意の組合せを含むポリマー膜
を含む集電体上に、堆積することをさらに含む、請求項１６に記載の電極を構成する方法。

【請求項２５】
超高硫黄含量の３次元グラフェンフレームワークで電極を構成する方法であって、
ａ）ｉ．酸化グラフェン懸濁液を形成すること、および
ｉｉ．前記懸濁液を乾燥させること
を含む、酸化グラフェンを合成すること、ならびに
ｂ）ｉ．硫黄前駆体を前記酸化グラフェン懸濁液および第１の溶媒に添加すること、
ｉｉ．第１の溶液を形成するために第１の酸を添加すること、
ｉｉｉ．前記第１の溶液を撹拌すること、
ｉｖ．第２の溶液を形成するために第２の酸を前記第１の溶液に添加すること、
ｖ．前記第２の溶液を加熱すること、
ｖｉ．前記第２の溶液を第２の溶媒中で洗浄すること、および
ｖｉｉ．前記第２の溶液を凍結乾燥すること
を含む、前記酸化グラフェンから複合硫黄－酸化グラフェンを合成すること
を含む方法。
【請求項２６】
前記硫黄前駆体が、チオ硫酸ナトリウム、アルカリ性チオ硫酸ナトリウム、チオ硫酸アンモニウム、チオ硫酸バリウム、チオ硫酸カルシウム、金（Ｉ）チオ硫酸ナトリウム無水物、チオ硫酸カリウム、スルフェート、またはこれらの任意の組合せを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項２７】
前記第１の溶媒および前記第２の溶媒の少なくとも１種が、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、脱イオン水、またはこれらの任意の組合せを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項２８】
前記第１の酸が、過塩素酸、ヨウ化水素酸、臭化水素酸、塩酸、硫酸、ｐ－トルエンスルホン酸、メタンスルホン酸、またはこれらの任意の組合せを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項２９】
前記第２の酸が、ギ酸、アスコルビン酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、または任意のこれらの組合せを含む、請求項２５に記載の方法。
【請求項３０】
前記硫黄前駆体の濃度が、前記電極の負荷率を制御するために約０．５Ｍから約２Ｍに調整される、請求項２５に記載の方法。
【請求項３１】
前記酸化グラフェン懸濁液の濃度が、約１．２ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌである、請求項２５に記載の方法。
【請求項３２】
前記第１の酸および前記第２の酸の少なくとも１種の濃度が、約０．５Ｍから約４Ｍである、請求項２５に記載の方法。
【請求項３３】
前記第２の溶液が、約４７℃から約１９０℃の温度で加熱される、請求項２５に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
相互参照
本出願は、２０１６年１月２６日に出願された米国仮出願番号第６２／２８７，４０２号、および２０１６年１月２６日に出願された米国仮出願番号第６２／２８７，４０３号の利益を主張しており、これらの仮出願は参考として本明細書中に援用される。
【背景技術】

【０００２】
背景
現代生活においてエネルギーへの必要性が急速に高まりつつあるが、その結果として、高性能電気エネルギー貯蔵デバイスの開発が著しい注目を集めている。スーパーキャパシタは、バッテリの特性と伝統的なキャパシタの特性との間の中間の特性を有する有望な電気エネルギー貯蔵デバイスであるが、それらよりも急速な改善がなされている。過去数十年にわたり、スーパーキャパシタは、適用例の増加に伴い、バッテリおよびキャパシタの代わりになることにより、日用品の重要な構成要素になってきた。この技術の将来の成長は、エネルギー密度、電力密度、サイクル寿命、および生産コストのさらなる改善に依存する。
【発明の概要】
【課題を解決するための手段】
【０００３】
要旨
本発明者らは、より高い性能の電気エネルギー貯蔵デバイス（ＥＥＳＤ）の必要性に対する解決策を理解し、提供した。本明細書では、グラフェン材料、物質の組成物、製作プロセス、および改善された性能を有するデバイスを提供する。本明細書に記述される主題の特色は、バックアップ電力、コールドスタート、フラッシュカメラ、回生制動、およびハイブリッド電気自動車の適用例を含むがこれらに限定することのない、高電力密度および優れた低温性能を提供する。
【０００４】
本明細書に記述される適用例は、高電力密度を有するエレクトロニクスおよびエネルギー貯蔵システムの領域において改善をもたらす。多くの従来のスーパーキャパシタは、低いエネルギーおよび電力密度、ならびに低いサイクリング能力および容量能力を示す。通常の電子デバイスは、ムーアの法則に従って非常に急速な進展を見てきたが、電気エネルギー貯蔵デバイスは、高い電荷貯蔵能力を有する新規材料の欠如により、ごく僅かしか進歩していない。
【０００５】
本開示は、現行のエネルギー貯蔵技術の欠点を回避し得るスーパーキャパシタを提供する。本明細書では、そのようなスーパーキャパシタの材料および製作プロセスが提供される。一部の実施形態では、電気化学システムは、第１の電極、第２の電極を含み、第１の電極および第２の電極の少なくとも１つが３次元多孔質還元型酸化グラフェンフレームワークを含む。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、第１の電極と第２の電極との間に配置された電解質をさらに含む。一部の実施形態では、電解質は、水性電解質である。一部の実施形態では、電気化学システムは、第１の電極と第２の電極との間に配置されたセパレータをさらに含む。一部の実施形態では、電気化学システムは、集電体をさらに含む。
【０００６】
本明細書で提供される一態様は、３Ｄグラフェンフレームワークを含む電極であって、多孔質構造（例えば、階層的多孔質構造）を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造（ｎｅｔｗｏｒｋ）と、容量性または擬似容量性材料を含む複合材料とを含む、電極である。
【０００７】
一部の実施形態では、３Ｄグラフェンフレームワークは、穴のある３Ｄグラフェンフレームワークを含む。
【０００８】
一部の実施形態では、電極は、約４５０m^2／ｇから約３，０００m^2／ｇの比表面積を有する。一部の実施形態では、電極は、少なくとも約４５０m^2／ｇの比表面積を有する。一部の実施形態では、電極は、最大で約３，０００m^2／ｇの比表面積を有する。一部の実施形態では、電極は、約４５０m^2／ｇから約６００m^2／ｇ、約４５０m^2／ｇか

ら約７５０ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約９００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，０５０ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，２００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約２，２００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約７５０ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約９００ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約１，０５０ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約１，２００ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約２，２００ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約６００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約９００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約１，０５０ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約１，２００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約２，２００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約９００ｍ^2／ｇから約１，０５０ｍ^2／ｇ、約９００ｍ^2／ｇから約１，２００ｍ^2／ｇ、約９００ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇ、約９００ｍ^2／ｇから約２，２００ｍ^2／ｇ、約９００ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約９００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約１，０５０ｍ^2／ｇから約１，２００ｍ^2／ｇ、約１，０５０ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇ、約１，０５０ｍ^2／ｇから約２，２００ｍ^2／ｇ、約１，０５０ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約１，０５０ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約１，２００ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇ、約１，２００ｍ^2／ｇから約２，２００ｍ^2／ｇ、約１，２００ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約１，２００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約１，８００ｍ^2／ｇから約２，２００ｍ^2／ｇ、約１，８００ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約１，８００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約２，２００ｍ^2／ｇから約２，６００ｍ^2／ｇ、約２，２００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、または約２，６００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇの比表面積を有する。

【０００９】

一部の実施形態では、電極は、約３０％から約９９％の負荷率を有する。一部の実施形態では、電極は、少なくとも約３０％の負荷率を有する。一部の実施形態では、電極は最大で約９９％の負荷率を有する。一部の実施形態では、電極は、約３０％から約４０％、約３０％から約５０％、約３０％から約６０％、約３０％から約７０％、約３０％から約８０％、約３０％から約９０％、約３０％から約９９％、約４０％から約５０％、約４０％から約６０％、約４０％から約７０％、約４０％から約８０％、約４０％から約９０％、約４０％から約９９％、約５０％から約６０％、約５０％から約７０％、約５０％から約８０％、約５０％から約９０％、約５０％から約９９％、約６０％から約７０％、約６０％から約８０％、約６０％から約９０％、約６０％から約９９％、約７０％から約８０％、約７０％から約９０％、約７０％から約９９％、約８０％から約９０％、約８０％から約９９％、または約９０％から約９９％の負荷率を有する。

【００１０】

一部の実施形態では、電極は、約５００サイクルから約２，０００，０００サイクルのサイクル寿命を有する。一部の実施形態では、電極は、少なくとも約５００サイクルのサイクル寿命を有する。一部の実施形態では、電極は、最大で約２，０００，０００サイクルのサイクル寿命を有する。一部の実施形態では、電極は、約５００サイクルから約１，０００サイクル、約５００サイクルから約５，０００サイクル、約５００サイクルから約１０，０００サイクル、約５００サイクルから約５０，０００サイクル、約５００サイクルから約１００，０００サイクル、約５００サイクルから約５００，０００サイクル、約５００サイクルから約１，０００，０００サイクル、約５００サイクルから約２，０００，０００サイクル、約１，０００サイクルから約５，０００サイクル、約１，０００サイクルから約１０，０００サイクル、約１，０００サイクルから約５０，０００サイクル、約１，０００サイクルから約１００，０００サイクル、約１，０００サイクルから約５００，０００サイクル、約１，０００サイクルから約１，０００，０００サイクル、約１，０００サイクルから約２，０００，０００サイクル、約５，０００サイクルから約１０，

０００サイクル、約５，０００サイクルから約５０，０００サイクル、約５，０００サイクルから約１００，０００サイクル、約５，０００サイクルから約５００，０００サイクル、約５，０００サイクルから約１，０００，０００サイクル、約５，０００サイクルから約２，０００，０００サイクル、約１０，０００サイクルから約５０，０００サイクル、約１０，０００サイクルから約１００，０００サイクル、約１０，０００サイクルから約５００，０００サイクル、約１０，０００サイクルから約１，０００，０００サイクル、約１０，０００サイクルから約２，０００，０００サイクル、約５０，０００サイクルから約１００，０００サイクル、約５０，０００サイクルから約５００，０００サイクル、約５０，０００サイクルから約１，０００，０００サイクル、約５０，０００サイクルから約２，０００，０００サイクル、約１００，０００サイクルから約５００，０００サイクル、約１００，０００サイクルから約１，０００，０００サイクル、約１００，０００サイクルから約２，０００，０００サイクル、約５００，０００サイクルから約１，０００，０００サイクル、約５００，０００サイクルから約２，０００，０００サイクル、または約１，０００，０００サイクルから約２，０００，０００サイクルのサイクル寿命を有する。

【００１１】

一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約２５０ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで少なくとも約２５０ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで最大で約４，０００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約２５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約７５０ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約７５０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約７５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約７５０ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約７５０ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約７５０ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、または約３，０００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。

【００１２】

一部の実施形態では、電極は、約９０％から約９９％の多孔率を有する。一部の実施形態では、電極は、少なくとも約９０％の多孔率を有する。一部の実施形態では、電極は、最大で約９９％の多孔率を有する。一部の実施形態では、電極は、約９０％から約９２％、約９０％から約９４％、約９０％から約９６％、約９０％から約９８％、約９０％から約９９％、約９２％から約９４％、約９２％から約９６％、約９２％から約９８％、約９２％から約９９％、約９４％から約９６％、約９４％から約９８％、約９４％から約９９％、約９６％から約９８％、約９６％から約９９％、または約９８％から約９９％の多孔率を有する。

【００１３】

一部の実施形態では、電極は、約０．００２μｍから約１００，０００μｍの細孔直径を有する。一部の実施形態では、電極は、少なくとも約０．００２μｍの細孔直径を有する。一部の実施形態では、電極は、最大で約１００，０００μｍの細孔直径を有する。一部の実施形態では、電極は、最大で約１００μｍの細孔直径を有する。一部の実施形態では、電極は、約０．００２μｍから約０．０１μｍ、約０．００２μｍから約０．１μｍ、約０．００２μｍから約１μｍ、約０．００２μｍから約１０μｍ、約０．００２μｍから約１００μｍ、約０．００２μｍから約１，０００μｍ、約０．００２μｍから約１

０，０００μｍ、約０．００２μｍから約１００，０００μｍ、約０．０１μｍから約０．１μｍ、約０．０１μｍから約１μｍ、約０．０１μｍから約１０μｍ、約０．０１μｍから約１００μｍ、約０．０１μｍから約１，０００μｍ、約０．０１μｍから約１０，０００μｍ、約０．０１μｍから約１００，０００μｍ、約０．１μｍから約１μｍ、約０．１μｍから約１０μｍ、約０．１μｍから約１００μｍ、約０．１μｍから約１，０００μｍ、約０．１μｍから約１０，０００μｍ、約０．１μｍから約１００，０００μｍ、約１μｍから約１０μｍ、約１μｍから約１００μｍ、約１μｍから約１，０００μｍ、約１μｍから約１０，０００μｍ、約１μｍから約１００，０００μｍ、約１０μｍから約１００μｍ、約１０μｍから約１，０００μｍ、約１０μｍから約１０，０００μｍ、約１０μｍから約１００，０００μｍ、約１００μｍから約１，０００μｍ、約１００μｍから約１０，０００μｍ、約１００μｍから約１００，０００μｍ、約１，０００μｍから約１０，０００μｍ、約１，０００μｍから約１００，０００μｍ、約１０，０００μｍから約１００，０００μｍ、約０．００２μｍから約０．００５μｍ、約０．００２μｍから約０．０２μｍ、約０．００２μｍから約０．０５μｍ、約０．００２μｍから約０．２μｍ、約０．００２μｍから約０．５μｍ、約０．００２μｍから約２μｍ、約０．００２μｍから約５μｍ、約０．００２μｍから約２０μｍ、約０．００２μｍから約５０μｍ、約０．００２μｍから約１００μｍ、約０．００５μｍから約０．０２μｍ、約０．００５μｍから約０．０５μｍ、約０．００５μｍから約０．２μｍ、約０．００５μｍから約０．５μｍ、約０．００５μｍから約２μｍ、約０．００５μｍから約５μｍ、約０．００５μｍから約２０μｍ、約０．００５μｍから約５０μｍ、約０．００５μｍから約１００μｍ、約０．０２μｍから約０．０５μｍ、約０．０２μｍから約０．２μｍ、約０．０２μｍから約０．５μｍ、約０．０２μｍから約２μｍ、約０．０２μｍから約５μｍ、約０．０２μｍから約２０μｍ、約０．０２μｍから約５０μｍ、約０．０２μｍから約１００μｍ、約０．０５μｍから約０．２μｍ、約０．０５μｍから約０．５μｍ、約０．０５μｍから約２μｍ、約０．０５μｍから約５μｍ、約０．０５μｍから約２０μｍ、約０．０５μｍから約５０μｍ、約０．０５μｍから約１００μｍ、約０．２μｍから約０．５μｍ、約０．２μｍから約２μｍ、約０．２μｍから約５μｍ、約０．２μｍから約２０μｍ、約０．２μｍから約５０μｍ、約０．２μｍから約１００μｍ、約０．５μｍから約２μｍ、約０．５μｍから約５μｍ、約０．５μｍから約２０μｍ、約０．５μｍから約５０μｍ、約０．５μｍから約１００μｍ、約２μｍから約５μｍ、約２μｍから約２０μｍ、約２μｍから約５０μｍ、約２μｍから約１００μｍ、約５μｍから約２０μｍ、約５μｍから約５０μｍ、約５μｍから約１００μｍ、約２０μｍから約５０μｍ、約２０μｍから約１００μｍ、または約５０μｍから約１００μｍの細孔直径を有する。

【００１４】

一部の実施形態では、電極は、結合剤を含まない。一部の実施形態では、電極は、導電性添加剤を含まない。一部の実施形態では、電極は、導電性添加剤または結合剤を含まない。

【００１５】

一部の実施形態では、電極は自立型である。

【００１６】

電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、最大で約２８０μｍの厚さを有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約７０μｍから約２８０μｍの厚さを有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約７０μｍの厚さを有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約７０μｍから約１００μｍ、約７０μｍから約１

３０μｍ、約７０μｍから約１６０μｍ、約７０μｍから約１９０μｍ、約７０μｍから約２２０μｍ、約７０μｍから約２５０μｍ、約７０μｍから約２８０μｍ、約１００μｍから約１３０μｍ、約１００μｍから約１６０μｍ、約１００μｍから約１９０μｍ、約１００μｍから約２２０μｍ、約１００μｍから約２５０μｍ、約１００μｍから約２８０μｍ、約１３０μｍから約１６０μｍ、約１３０μｍから約１９０μｍ、約１３０μｍから約２２０μｍ、約１３０μｍから約２５０μｍ、約１３０μｍから約２８０μｍ、約１６０μｍから約１９０μｍ、約１６０μｍから約２２０μｍ、約１６０μｍから約２５０μｍ、約１６０μｍから約２８０μｍ、約１９０μｍから約２２０μｍ、約１９０μｍから約２５０μｍ、約１９０μｍから約２８０μｍ、約２２０μｍから約２５０μｍ、約２２０μｍから約２８０μｍ、または約２５０μｍから約２８０μｍの厚さを有する。

【００１７】

電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約１ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１５ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約１ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、最大で約１５ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約１ｍｇ／ｃｍ^{2}から約２ｍｇ／ｃｍ^2、約１ｍｇ／ｃｍ^{2}から約３ｍｇ／ｃｍ^2、約１ｍｇ／ｃｍ^{2}から約５ｍｇ／ｃｍ^2、約１ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約１ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１２ｍｇ／ｃｍ^2、約１ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１５ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約３ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約５ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１２ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１５ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約５ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１２ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１５ｍｇ／ｃｍ^2、約５ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約５ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１２ｍｇ／ｃｍ^2、約５ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１５ｍｇ／ｃｍ^2、約８ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１２ｍｇ／ｃｍ^2、約８ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１５ｍｇ／ｃｍ^2、または約１２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約１５ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。

【００１８】

電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約５００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇの比表面積を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約５００ｍ^2／ｇの比表面積を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、最大で約３，０００ｍ^2／ｇの比表面積を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約５００ｍ^2／ｇから約７５０ｍ^2／ｇ、約５００ｍ^2／ｇから約１，０００ｍ^2／ｇ、約５００ｍ^2／ｇから約１，５００ｍ^2／ｇ、約５００ｍ^2／ｇから約２，０００ｍ^2／ｇ、約５００ｍ^2／ｇから約２，５００ｍ^2／ｇ、約５００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約１，０００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約１，５００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約２，０００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約２，５００ｍ^2／ｇ、約７５０ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約１，０００ｍ^2／ｇから約１，５００ｍ^2／ｇ、約１，０００ｍ^2／ｇから約２，０００ｍ^2／ｇ、約１，０００ｍ^2／ｇから約２，５００ｍ^2／ｇ、約１，０００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約１，５００ｍ^2／ｇから約２，０００ｍ^2／ｇ、約１，５００ｍ^2／ｇから約２，５００ｍ^2／ｇ、約１，５０

０ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、約２，０００ｍ^2／ｇから約２，５００ｍ^2／ｇ、約２，０００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇ、または約２，５００ｍ^2／ｇから約３，０００ｍ^2／ｇの比表面積を有する。

【００１９】

電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約９０％から約９９％の多孔率を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約９０％の多孔率を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、最大で約９９％の多孔率を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約９０％から約９２％、約９０％から約９４％、約９０％から約９６％、約９０％から約９８％、約９０％から約９９％、約９２％から約９４％、約９２％から約９６％、約９２％から約９８％、約９２％から約９９％、約９４％から約９６％、約９４％から約９８％、約９４％から約９９％、約９６％から約９８％、約９６％から約９９％、または約９８％から約９９％の多孔率を有する。

【００２０】

電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約５００Ｓ／ｍから約２，０００Ｓ／ｍの導電率を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約５００Ｓ／ｍの導電率を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、最大で約２，０００Ｓ／ｍの導電率を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約５００Ｓ／ｍから約７５０Ｓ／ｍ、約５００Ｓ／ｍから約１，０００Ｓ／ｍ、約５００Ｓ／ｍから約１，２５０Ｓ／ｍ、約５００Ｓ／ｍから約１，５００Ｓ／ｍ、約５００Ｓ／ｍから約１，７５０Ｓ／ｍ、約５００Ｓ／ｍから約２，０００Ｓ／ｍ、約７５０Ｓ／ｍから約１，０００Ｓ／ｍ、約７５０Ｓ／ｍから約１，２５０Ｓ／ｍ、約７５０Ｓ／ｍから約１，５００Ｓ／ｍ、約７５０Ｓ／ｍから約１，７５０Ｓ／ｍ、約７５０Ｓ／ｍから約２，０００Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約１，２５０Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約１，５００Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約１，７５０Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約２，０００Ｓ／ｍ、約１，２５０Ｓ／ｍから約１，５００Ｓ／ｍ、約１，２５０Ｓ／ｍから約１，７５０Ｓ／ｍ、約１，２５０Ｓ／ｍから約２，０００Ｓ／ｍ、約１，５００Ｓ／ｍから約１，７５０Ｓ／ｍ、約１，５００Ｓ／ｍから約２，０００Ｓ／ｍ、または約１，７５０Ｓ／ｍから約２，０００Ｓ／ｍの導電率を有する。

【００２１】

電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約１２５Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンス（electrode-specific gravimetric capacitance）を有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約１２５Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンスを有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、最大で約８００Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンスを有する。電極が、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含む３Ｄグラフェンフレームワークを含む一部の実施形態では、電極は、約１２５Ｆ／ｇから約２００Ｆ／ｇ、約１２５Ｆ／ｇから約３００Ｆ／ｇ、約１２５Ｆ／ｇから

約４００Ｆ／ｇ、約１２５Ｆ／ｇから約５００Ｆ／ｇ、約１２５Ｆ／ｇから約６００Ｆ／ｇ、約１２５Ｆ／ｇから約７００Ｆ／ｇ、約１２５Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇ、約２００Ｆ／ｇから約３００Ｆ／ｇ、約２００Ｆ／ｇから約４００Ｆ／ｇ、約２００Ｆ／ｇから約５００Ｆ／ｇ、約２００Ｆ／ｇから約６００Ｆ／ｇ、約２００Ｆ／ｇから約７００Ｆ／ｇ、約２００Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇ、約３００Ｆ／ｇから約４００Ｆ／ｇ、約３００Ｆ／ｇから約５００Ｆ／ｇ、約３００Ｆ／ｇから約６００Ｆ／ｇ、約３００Ｆ／ｇから約７００Ｆ／ｇ、約３００Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇ、約４００Ｆ／ｇから約５００Ｆ／ｇ、約４００Ｆ／ｇから約６００Ｆ／ｇ、約４００Ｆ／ｇから約７００Ｆ／ｇ、約４００Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約６００Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約７００Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇ、約６００Ｆ／ｇから約７００Ｆ／ｇ、約６００Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇ、または約７００Ｆ／ｇから約８００Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンスを有する。

【００２２】

一部の実施形態では、電極は複合電極であり、複合材料は容量性または擬似容量性材料を含む。一部の実施形態では、容量性または擬似容量性材料は、ケイ素、硫黄、Nb_2O_5、Al_2O_3、V_2O_5、Re_2O_7、CrO_3、CeO_2、RuO_2、ZrO_2、MoO_3、WO_3、TiO_2、またはこれらの任意の組合せを含む。

【００２３】

一部の実施形態では、電極は複合電極であり、複合材料はケイ素を含む。

【００２４】

電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約４５０m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇの比表面積を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約４５０m^2／ｇの比表面積を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約１，８００m^2／ｇの比表面積を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約４５０m^2／ｇから約７５０m^2／ｇ、約４５０m^2／ｇから約１，０００m^2／ｇ、約４５０m^2／ｇから約１，５００m^2／ｇ、約４５０m^2／ｇから約２，０００m^2／ｇ、約４５０m^2／ｇから約２，５００m^2／ｇ、約４５０m^2／ｇから約３，０００m^2／ｇ、約７５０m^2／ｇから約１，０００m^2ｇ、約７５０m^2／ｇから約１，５００m^2／ｇ、約７５０m^2／ｇから約２，０００m^2／ｇ、約７５０m^2／ｇから約２，５００m^2／ｇ、約７５０m^2／ｇから約３，０００m^2／ｇ、約１，０００m^2／ｇから約１，５００m^2／ｇ、約１，０００m^2／ｇから約２，０００m^2／ｇ、約１，０００m^2／ｇから約２，５００m^2／ｇ、約１，０００m^2／ｇから約３，０００m^2／ｇ、または約１，５００m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇの比表面積を有する。

【００２５】

電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約３５％から約９５％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約３５％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約９５％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約３５％から約４０％、約３５％から約４５％、約３５％から約５０％、約３５％から約５５％、約３５％から約６０％、約３５％から約６５％、約３５％から約７０％、約３５％から約８５％、約３５％から約９０％、約３５％から約９５％、約４０％から約４５％、約４０％から約５０％、約４０％から約５５％、約４０％から約６０％、約４０％から約６５％、約４０％から約７０％、約４０％から約８５％、約４０％から約９０％、約４０％から約９５％、約４５％から約５０％、約４５％から約５５％、約４５％から約６０％、約４５％から約６５％、約４５％から約７０％、約４５％から約８５％、約４５％から約９０％、約４５％から約９５％、約５０％から約５５％、約５０％から約６０％、約５０％から約６５％、約５０％から約７０％、約５０％から約８５％、約５０％から約９０％、約５０

％から約９５％、約５５％から約６０％、約５５％から約６５％、約５５％から約７０％、約５５％から約８５％、約５５％から約９０％、約５５％から約９５％、約６０％から約６５％、約６０％から約７０％、約６０％から約８５％、約６０％から約９０％、約６０％から約９５％、約６５％から約７０％、約６５％から約８５％、約６５％から約９０％、約６５％から約９５％、約７０％から約８５％、約７０％から約９０％、約７０％から約９５％、約８５％から約９０％、約８５％から約９５％、または約９０％から約９５％の負荷率を有する。

【００２６】

電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約７００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍの導電率を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約７００Ｓ／ｍの導電率を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約２，８００Ｓ／ｍの導電率を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約７００Ｓ／ｍから約８００Ｓ／ｍ、約７００Ｓ／ｍから約１，０００Ｓ／ｍ、約７００Ｓ／ｍから約１，２００Ｓ／ｍ、約７００Ｓ／ｍから約１，４００Ｓ／ｍ、約７００Ｓ／ｍから約１，８００Ｓ／ｍ、約７００Ｓ／ｍから約２，２００Ｓ／ｍ、約７００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍ、約８００Ｓ／ｍから約１，０００Ｓ／ｍ、約８００Ｓ／ｍから約１，２００Ｓ／ｍ、約８００Ｓ／ｍから約１，４００Ｓ／ｍ、約８００Ｓ／ｍから約１，８００Ｓ／ｍ、約８００Ｓ／ｍから約２，２００Ｓ／ｍ、約８００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約１，２００Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約１，４００Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約１，８００Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約２，２００Ｓ／ｍ、約１，０００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍ、約１，２００Ｓ／ｍから約１，４００Ｓ／ｍ、約１，２００Ｓ／ｍから約１，８００Ｓ／ｍ、約１，２００Ｓ／ｍから約２，２００Ｓ／ｍ、約１，２００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍ、約１，４００Ｓ／ｍから約１，８００Ｓ／ｍ、約１，４００Ｓ／ｍから約２，２００Ｓ／ｍ、約１，４００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍ、約１，８００Ｓ／ｍから約２，２００Ｓ／ｍ、約１，８００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍ、または約２，２００Ｓ／ｍから約２，８００Ｓ／ｍの導電率を有する。

【００２７】

電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約０．２５Ｖから約１Ｖの動作電圧電位を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約０．２５Ｖの動作電圧電位を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約１Ｖの動作電圧電位を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、約０．２５Ｖから約０．３７５Ｖ、約０．２５Ｖから約０．５Ｖ、約０．２５Ｖから約０．６２５Ｖ、約０．２５Ｖから約１Ｖ、約０．３７５Ｖから約０．５Ｖ、約０．３７５Ｖから約０．６２５Ｖ、約０．３７５Ｖから約１Ｖ、約０．５Ｖから約０．６２５Ｖ、約０．５Ｖから約１Ｖ、または約０．６２５Ｖから約１Ｖの動作電圧電位を有する。

【００２８】

電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、０．１Ｃで約２５０ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、０．１Ｃで少なくとも約２５０ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、０．１Ｃで、最大で約４，０００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。電極が複合電極であり複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、電極は、０．１Ｃで約２５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約１，５００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約２，５００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約３，５００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡ

ｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，５００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約２，５００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約３，５００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，５００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，５００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約３，５００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，５００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，５００ｍＡｈ／ｇから約２，５００ｍＡｈ／ｇ、約１，５００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，５００ｍＡｈ／ｇから約３，５００ｍＡｈ／ｇ、約１，５００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約２，５００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約３，５００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約２，５００ｍＡｈ／ｇから約３，０００ｍＡｈ／ｇ、約２，５００ｍＡｈ／ｇから約３，５００ｍＡｈ／ｇ、約２，５００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、約３，０００ｍＡｈ／ｇから約３，５００ｍＡｈ／ｇ、約３，０００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇ、または約３，５００ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。

【００２９】

一部の実施形態では、電極は複合電極であり、複合材料は硫黄を含む。

【００３０】

電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約２ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約９ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約３ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約４ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約５ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約６ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約７ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約２ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約４ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約５ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約６ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約７ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約３ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^2、約４ｍｇ／ｃｍ^{2}から約５ｍｇ／ｃｍ^2、約４ｍｇ／ｃｍ^{2}から約６ｍｇ／ｃｍ^2、約４ｍｇ／ｃｍ^{2}から約７ｍｇ／ｃｍ^2、約４ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約４ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^2、約５ｍｇ／ｃｍ^{2}から約６ｍｇ／ｃｍ^2、約５ｍｇ／ｃｍ^{2}から約７ｍｇ／ｃｍ^2、約５ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約５ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^2、約６ｍｇ／ｃｍ^{2}から約７ｍｇ／ｃｍ^2、約６ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約６ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^2、約７ｍｇ／ｃｍ^{2}から約８ｍｇ／ｃｍ^2、約７ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^2、または約８ｍｇ／ｃｍ^{2}から約９ｍｇ／ｃｍ^{2}の面積負荷質量を有する。

【００３１】

電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約４５０ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇの比表面積を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約４５０ｍ^2／ｇの比表面積を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約１，８００ｍ^2／ｇの比表面積を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約４５０ｍ^2／ｇから約６５０ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約８５０ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，０５０ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，２００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，４００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，６００ｍ^2／ｇ、約４５０ｍ^2／ｇから約１，８００ｍ^2／ｇ、約６５０ｍ^2／ｇから約８５０ｍ^2／ｇ、約６５０ｍ^2／ｇから約１，０５０ｍ^2／ｇ、約６５０ｍ^2／ｇか

ら約１，２００m^2／ｇ、約６５０m^2／ｇから約１，４００m^2／ｇ、約６５０m^2／ｇから約１，６００m^2／ｇ、約６５０m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇ、約８５０m^2／ｇから約１，０５０m^2／ｇ、約８５０m^2／ｇから約１，２００m^2／ｇ、約８５０m^2／ｇから約１，４００m^2／ｇ、約８５０m^2／ｇから約１，６００m^2／ｇ、約８５０m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇ、約１，０５０m^2／ｇから約１，２００m^2／ｇ、約１，０５０m^2／ｇから約１，４００m^2／ｇ、約１，０５０m^2／ｇから約１，６００m^2／ｇ、約１，０５０m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇ、約１，２００m^2／ｇから約１，４００m^2／ｇ、約１，２００m^2／ｇから約１，６００m^2／ｇ、約１，２００m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇ、約１，４００m^2／ｇから約１，６００m^2／ｇ、約１，４００m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇ、または約１，６００m^2／ｇから約１，８００m^2／ｇの比表面積を有する。

【００３２】

電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約０．０１μｍから約１００μｍの硫黄粒度を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約０．０１μｍの硫黄粒度を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約１００μｍの硫黄粒度を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約０．０１μｍから約０．０５μｍ、約０．０１μｍから約０．１μｍ、約０．０１μｍから約０．５μｍ、約０．０１μｍから約１μｍ、約０．０１μｍから約５μｍ、約０．０１μｍから約１０μｍ、約０．０１μｍから約２５μｍ、約０．０１μｍから約５０μｍ、約０．０１μｍから約１００μｍ、約０．０５μｍから約０．１μｍ、約０．０５μｍから約０．５μｍ、約０．０５μｍから約１μｍ、約０．０５μｍから約５μｍ、約０．０５μｍから約１０μｍ、約０．０５μｍから約２５μｍ、約０．０５μｍから約５０μｍ、約０．０５μｍから約１００μｍ、約０．１μｍから約０．５μｍ、約０．１μｍから約１μｍ、約０．１μｍから約５μｍ、約０．１μｍから約１０μｍ、約０．１μｍから約２５μｍ、約０．１μｍから約５０μｍ、約０．１μｍから約１００μｍ、約０．５μｍから約１μｍ、約０．５μｍから約５μｍ、約０．５μｍから約１０μｍ、約０．５μｍから約２５μｍ、約０．５μｍから約５０μｍ、約０．５μｍから約１００μｍ、約１μｍから約５μｍ、約１μｍから約１０μｍ、約１μｍから約２５μｍ、約１μｍから約５０μｍ、約１μｍから約１００μｍ、約５μｍから約１０μｍ、約５μｍから約２５μｍ、約５μｍから約５０μｍ、約５μｍから約１００μｍ、約１０μｍから約２５μｍ、約１０μｍから約５０μｍ、約１０μｍから約１００μｍ、約２５μｍから約５０μｍ、約２５μｍから約１００μｍ、または約５０μｍから約１００μｍの硫黄粒度を有する。

【００３３】

電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約３０％から約９９％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約３０％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約９９％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約３０％から約４０％、約３０％から約５０％、約３０％から約６０％、約３０％から約７０％、約３０％から約８０％、約３０％から約９０％、約３０％から約９９％、約４０％から約５０％、約４０％から約６０％、約４０％から約７０％、約４０％から約８０％、約４０％から約９０％、約４０％から約９９％、約５０％から約６０％、約５０％から約７０％、約５０％から約８０％、約５０％から約９０％、約５０％から約９９％、約６０％から約７０％、約６０％から約８０％、約６０％から約９０％、約６０％から約９９％、約７０％から約８０％、約７０％から約９０％、約７０％から約９９％、約８０％から約９０％、約８０％から約９９％、または約９０％から約９９％の負荷率を有する。

【００３４】

電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約３０％か

ら約９５％の硫黄負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約３５％の硫黄負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約９５％の硫黄負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約３０％から約４０％、約３０％から約４５％、約３０％から約５０％、約３０％から約５５％、約３０％から約６０％、約３０％から約６５％、約３０％から約７０％、約３０％から約８５％、約３０％から約９０％、約３０％から約９５％、約４０％から約４５％、約４０％から約５０％、約４０％から約５５％、約４０％から約６０％、約４０％から約６５％、約４０％から約７０％、約４０％から約８５％、約４０％から約９０％、約４０％から約９５％、約４５％から約５０％、約４５％から約５５％、約４５％から約６０％、約４５％から約６５％、約４５％から約７０％、約４５％から約８５％、約４５％から約９０％、約４５％から約９５％、約５０％から約５５％、約５０％から約６０％、約５０％から約６５％、約５０％から約７０％、約５０％から約８５％、約５０％から約９０％、約５０％から約９５％、約５５％から約６０％、約５５％から約６５％、約５５％から約７０％、約５５％から約８５％、約５５％から約９０％、約５５％から約９５％、約６０％から約６５％、約６０％から約７０％、約６０％から約８５％、約６０％から約９０％、約６０％から約９５％、約６５％から約７０％、約６５％から約８５％、約６５％から約９０％、約６５％から約９５％、約７０％から約８５％、約７０％から約９０％、約７０％から約９５％、約８５％から約９０％、約８５％から約９５％、または約９０％から約９５％の負荷率を有する。

【００３５】

電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約４００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで少なくとも約４００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで最大で約２，６００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、または約２，２００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する。

【００３６】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約７０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約６４０ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量（ｓｕｌｆｕｒ－ｓｐｅｃｉｆｉｃ　ｃａｐａｃｉｔｙ）を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約７０重量％の硫黄か

ら構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで少なくとも約６４０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。これらの実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで最大で約２，６００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約７０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約６４０ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約６４０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６４０ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約６４０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６４０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６４０ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約６４０ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約６４０ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇ、または約２，２００ｍＡｈ／ｇから約２，６００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００３７】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約７０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、約４２０ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、少なくとも約４２０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約７０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、最大で約１，７００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約７０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、約４２０ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約４２０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４２０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４２０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４２０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４２０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４２０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４２０ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍ

Ａｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇ、または約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，７００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００３８】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約６００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで少なくとも約６００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで最大で約２，４００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，０００ｍＡｈ／ｇ、約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約２，０００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇ、または約２，２００ｍＡｈ／ｇから約２，４００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００３９】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、少なくとも約３８０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、最大で約１，５５０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約８０重量％の硫黄から

構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約５０回の使用サイクル後に、約３８０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、または約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００４０】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約５００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで少なくとも約５００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで最大で約２，２００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約５００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約９００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇ、または約１，８００ｍＡｈ／ｇから約２，２００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００４１】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約１０回の使用サイクル後に、約４１０ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約１０回の使用サイクル後に、少なくとも約４１０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約１０回の使用サイクル後に、最大で約１，６５０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を

有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約１０回の使用サイクル後に、約４１０ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約４１０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４１０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４１０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４１０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４１０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４１０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４１０ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇ、または約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，６５０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００４２】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約２０回の使用サイクル後に、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約２０回の使用サイクル後に、少なくとも約４００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約２０回の使用サイクル後に、最大で約１，６００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで、約２０回の使用サイクル後に、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、または約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００４３】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約５０回の使用サイクル後、約０．１のＣレートで約

３３０ｍＡｈ／ｇから約１，５００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約５０回の使用サイクル後、約０．１のＣレートで少なくとも約３３０ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約５０回の使用サイクル後、約０．１のＣレートで最大で約１，４００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約５０回の使用サイクル後、約０．１のＣレートで約３３０ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約３３０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３３０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３３０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約３３０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約３３０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約３３０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，５００ｍＡｈ／ｇ、または約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を有する。

【００４４】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約４８０ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで少なくとも約４８０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで最大で約１，９４０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．１のＣレートで約４８０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約４８０ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ

／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，６００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、約１，６００ｍＡｈ／ｇから約１，８００ｍＡｈ／ｇ、約１，６００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇ、または約１，８００ｍＡｈ／ｇから約１，９４０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。

【００４５】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．２のＣレートで約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．２のＣレートで少なくとも約３８０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．２のＣレートで最大で約１，５５０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．２のＣレートで約３８０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約３８０ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，４００ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇ、または約１，４００ｍＡｈ／ｇから約１，５５０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。

【００４６】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．５のＣレートで約３００ｍＡｈ／ｇから約１，２３０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．５のＣレートで少なくとも約３００ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、

電極は、約０．５のＣレートで最大で約１，２３０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約０．５のＣレートで約３００ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約１，２３０ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，２３０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，２３０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，２３０ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，２３０ｍＡｈ／ｇ、または約１，０００ｍＡｈ／ｇから約１，２３０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。

【００４７】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで約２５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで少なくとも約２５０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで最大で約１，０００ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで約２５０ｍＡｈ／ｇから約３００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇ、または約９００ｍＡｈ／ｇから約１，０００ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。

【００４８】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約２．０のＣレートで約１９０ｍＡｈ／ｇから約７７０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約２．０のＣレー

トで少なくとも約１９０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約２．０のＣレートで最大で約７７０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約２．０のＣレートで約１９０ｍＡｈ／ｇから約３００ｍＡｈ／ｇ、約１９０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約１９０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約１９０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約１９０ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約１９０ｍＡｈ／ｇから約７７０ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約７７０ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約７７０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約７７０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約７７０ｍＡｈ／ｇ、または約７００ｍＡｈ／ｇから約７７０ｍＡｈ／ｇの比電極容量を有する。

【００４９】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで約２２０ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで少なくとも約２２０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで最大で約８８０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで約２２０ｍＡｈ／ｇから約２５０ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約３００ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約３５０ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約２２０ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約３００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約３５０ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約２５０ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約３５０ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約３５０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３５０ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約３５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３５０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３５０ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約３５０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約３５０ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約４５０ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４５０ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／

ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇ、または約８００ｍＡｈ／ｇから約８８０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。

【００５０】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、３０サイクル後に約４４５ｍＡｈ／ｇから約９５０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、約３０回の使用サイクル後に、少なくとも約４４５ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、約３０回の使用サイクル後に、最大で約９５０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、約３０回の使用サイクル後に、約４４５ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４４５ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４４５ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約４４５ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約４４５ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約４４５ｍＡｈ／ｇから約９５０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約９５０ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約７００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約６００ｍＡｈ／ｇから約９５０ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約８００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約７００ｍＡｈ／ｇから約９５０ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約９００ｍＡｈ／ｇ、約８００ｍＡｈ／ｇから約９５０ｍＡｈ／ｇ、または約９００ｍＡｈ／ｇから約９５０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。

【００５１】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、約５００回の使用サイクル後に、約１７０ｍＡｈ／ｇから約６８０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、約５００回の使用サイクル後に、少なくとも約１７０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、約５００回の使用サイクル後に、最大で約６８０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで、約５００回の使用サイクル後に、約１７０ｍＡｈ／ｇから約２００ｍＡｈ／ｇ、約１７０ｍＡｈ／ｇから約３００ｍＡｈ／ｇ、約１７０ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約１７０ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約１７０ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約１７０ｍＡｈ／ｇから約６８０ｍＡｈ／ｇ、約２００ｍＡｈ／ｇから約３００ｍＡｈ／ｇ、約２００ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約２００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約２００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約２００ｍＡｈ／ｇから約６８０ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約４００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約３００ｍＡｈ／ｇから約６８０ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約５００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約４００ｍＡｈ／ｇから約６８０ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６００ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇから約６８０ｍＡｈ／ｇ、または約６００ｍＡｈ

／ｇから約６８０ｍＡｈ／ｇの比電極放電容量を有する。

【００５２】

電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで約０．０２５％から約１％の比電極容量フェージング（ｆａｄｉｎｇ）を有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで少なくとも約０．０２５％の比電極容量フェージングを有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで最大で約１％の比電極容量フェージングを有する。電極が複合電極であり、複合材料が硫黄を含み、電極が約９０重量％の硫黄から構成される一部の実施形態では、電極は、約１．０のＣレートで約０．０２５％から約０．０５％、約０．０２５％から約０．１％、約０．０２５％から約０．２５％、約０．０２５％から約０．５％、約０．０２５％から約０．７５％、約０．０２５％から約１％、約０．０５％から約０．１％、約０．０５％から約０．２５％、約０．０５％から約０．５％、約０．０５％から約０．７５％、約０．０５％から約１％、約０．１％から約０．２５％、約０．１％から約０．５％、約０．１％から約０．７５％、約０．１％から約１％、約０．２５％から約０．５％、約０．２５％から約０．７５％、約０．２５％から約１％、約０．５％から約０．７５％、約０．５％から約１％、または約０．７５％から約１％の比電極容量フェージングを有する。

【００５３】

一部の実施形態では、電極は複合電極であり、複合材料は遷移金属酸化物を含む。

【００５４】

一部の実施形態では、遷移金属酸化物は、Nb_2O_5、Al_2O_3、V_2O_5、Re_2O_7、CrO_3、CeO_2、RuO_2、ZrO_2、MoO_3、WO_3、TiO_2、またはこれらの任意の組合せを含む。

【００５５】

電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、約４０％から約９５％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約４０％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約９５％の負荷率を有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、約４０％から約５０％、約４０％から約６０％、約４０％から約７０％、約４０％から約８０％、約４０％から約９０％、約４０％から約９５％、約５０％から約６０％、約５０％から約７０％、約５０％から約８０％、約５０％から約９０％、約５０％から約９５％、約６０％から約７０％、約６０％から約８０％、約６０％から約９０％、約６０％から約９５％、約７０％から約８０％、約７０％から約９０％、約７０％から約９５％、約８０％から約９０％、約８０％から約９５％、または約９０％から約９５％の負荷率を有する。

【００５６】

電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、約２５０Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンスを有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約２５０Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンスを有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約２，０００Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンスを有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、約２５０Ｆ／ｇから約５００Ｆ／ｇ、約２５０Ｆ／ｇから約７５０Ｆ／ｇ、約２５０Ｆ／ｇから約１，０００Ｆ／ｇ、約２５０Ｆ／ｇから約１，２５０Ｆ／ｇ、約２５０Ｆ／ｇから約１，５００Ｆ／ｇ、約２５０Ｆ／ｇから約１，７５０Ｆ／ｇ、約２５０Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約７５０Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約１，０００Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約１，２５０Ｆ／ｇ、約５０

０Ｆ／ｇから約１，５００Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約１，７５０Ｆ／ｇ、約５００Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇ、約７５０Ｆ／ｇから約１，０００Ｆ／ｇ、約７５０Ｆ／ｇから約１，２５０Ｆ／ｇ、約７５０Ｆ／ｇから約１，５００Ｆ／ｇ、約７５０Ｆ／ｇから約１，７５０Ｆ／ｇ、約７５０Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇ、約１，０００Ｆ／ｇから約１，２５０Ｆ／ｇ、約１，０００Ｆ／ｇから約１，５００Ｆ／ｇ、約１，０００Ｆ／ｇから約１，７５０Ｆ／ｇ、約１，０００Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇ、約１，２５０Ｆ／ｇから約１，５００Ｆ／ｇ、約１，２５０Ｆ／ｇから約１，７５０Ｆ／ｇ、約１，２５０Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇ、約１，５００Ｆ／ｇから約１，７５０Ｆ／ｇ、約１，５００Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇ、または約１，７５０Ｆ／ｇから約２，０００Ｆ／ｇの比電極重量キャパシタンスを有する。

【００５７】

電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、約０．５Ｖから約４Ｖの動作電圧電位を有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、少なくとも約０．５Ｖの動作電圧電位を有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、最大で約４Ｖの動作電圧電位を有する。電極が複合電極であり複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、電極は、約０．５Ｖから約０．７５Ｖ、約０．５Ｖから約１Ｖ、約０．５Ｖから約２Ｖ、約０．５Ｖから約３Ｖ、約０．５Ｖから約４Ｖ、約０．７５Ｖから約１Ｖ、約０．７５Ｖから約２Ｖ、約０．７５Ｖから約３Ｖ、約０．７５Ｖから約４Ｖ、約１Ｖから約２Ｖ、約１Ｖから約３Ｖ、約１Ｖから約４Ｖ、約２Ｖから約３Ｖ、約２Ｖから約４Ｖ、または約３Ｖから約４Ｖの動作電圧電位を有する。

【００５８】

本明細書で提供される第２の実施形態は、第１の電極、第２の電極、および電解質を含む、エネルギー貯蔵デバイスであって、第１の電極および第２の電極の少なくとも１つが３Ｄグラフェンフレームワークを含み、３Ｄグラフェンフレームワークが、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含み、第１の電極および第２の電極の少なくとも１つが、容量性または擬似容量性材料を含む複合材料をさらに含む、エネルギー貯蔵デバイスである。

【００５９】

一部の実施形態では、３Ｄグラフェンフレームワークは、穴のある３Ｄグラフェンフレームワークを含む。

【００６０】

一部の実施形態では、電解質は、ヘキサフルオロリン酸リチウム、ヨードメタン、硫酸ジメチル、炭酸ジメチル、塩化テトラメチルアンモニウム、メチルトリフレート、ジアゾメタン、フルオロスルホン酸メチル、酢酸エチル、アセトン、ジメチルホルムアミド、アセトニトリル、ジメチルスルホキシド、ニトロメタン、炭酸プロピレン、炭酸エチレン、リチウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミド、１－２ジメトキシエタン、１，３－ジオキソラン、硝酸リチウム、またはこれらの任意の組合せを含む、非水性電解質である。

【００６１】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１６Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度（ｓｔａｃｋ－ｓｐｅｃｉｆｉｃ　ｅｎｅｒｇｙ　ｄｅｎｓｉｔｙ）を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約１６Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１６Ｗｈ／ｋｇから約２５Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約２

５Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、または約６００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。

【００６２】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約０．５ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、または約１５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。

【００６３】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１６Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約１６Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約９００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１６Ｗｈ／ｋｇから約２５Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約６００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ

、約６００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、または約８００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。

【００６４】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約０．５ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約２０ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約２０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、または約３０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。

【００６５】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．００１Ｆから約１０Ｆの全キャパシタンスを有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約０．００１Ｆの全キャパシタンスを有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約１０Ｆの全キャパシタンスを有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．００１Ｆから約０．００５Ｆ、約０．００１Ｆから約０．０１Ｆ、約０．００１Ｆから約０．０５Ｆ、約０．００１Ｆから約０．１Ｆ、約０．００１Ｆから約０．５Ｆ、約０．００１Ｆから約１Ｆ、約０．００１Ｆから約５Ｆ、約０．００１Ｆから約１０Ｆ、約０．００５Ｆから約０．０１Ｆ、約０．００５Ｆから約０．０５Ｆ、約０．００５Ｆから約０．１Ｆ、約０．００５Ｆから約０．５Ｆ、約０．００５Ｆから約１Ｆ、約０．００５Ｆから約５Ｆ、約０．００５Ｆから約１０Ｆ、約０．０１Ｆから約０．０５Ｆ、約０．０１Ｆから約０．１Ｆ、約０．０１Ｆから約０．５Ｆ、約０．０１Ｆから約１Ｆ、約０．０１Ｆから約５Ｆ、約０．０１Ｆから約１０Ｆ、約０．０５Ｆから約０．１Ｆ、約０．０５Ｆから約０．５Ｆ、約０．０５Ｆから約１Ｆ、約０．０５Ｆから約５Ｆ、約０．０５Ｆから約１０Ｆ、約０．１Ｆから約０．５Ｆ、約０．１Ｆから約１Ｆ、約０．１Ｆから約５Ｆ、約０．１Ｆから約１０Ｆ、約０．５Ｆから約１Ｆ、約０．５Ｆから約５Ｆ、約０．５Ｆから約１０Ｆ、約１Ｆから約５Ｆ、約１Ｆから約１０Ｆ、または約５Ｆから約１０Ｆの全キャパシタンスを有する。

【００６６】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスはパウチセルである。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスはコインセルである。一部の実施形態では、第１の電極はカソードであり第２の電極はアノードである。一部の実施形態では、第１の電極はアノードであり第２の電極はカソードであり、電解質は非水性電解質である。

【００６７】

一部の実施形態では、アノードは複合電極を含み、複合材料はケイ素を含み、カソードは複合電極を含み、複合材料は硫黄を含む。

【００６８】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１１Ｗｈ／m^2から約４５Ｗｈ／m^2の面積エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、

少なくとも約１１Ｗｈ／ｍ^{2}の面積エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約４５Ｗｈ／ｍ^{2}の面積エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１１Ｗｈ／ｍ^{2}から約１５Ｗｈ／ｍ^2、約１１Ｗｈ／ｍ^{2}から約２０Ｗｈ／ｍ^2、約１１Ｗｈ／ｍ^{2}から約２５Ｗｈ／ｍ^2、約１１Ｗｈ／ｍ^{2}から約３０Ｗｈ／ｍ^2、約１１Ｗｈ／ｍ^{2}から約３５Ｗｈ／ｍ^2、約１１Ｗｈ／ｍ^{2}から約４５Ｗｈ／ｍ^2、約１５Ｗｈ／ｍ^{2}から約２０Ｗｈ／ｍ^2、約１５Ｗｈ／ｍ^{2}から約２５Ｗｈ／ｍ^2、約１５Ｗｈ／ｍ^{2}から約３０Ｗｈ／ｍ^2、約１５Ｗｈ／ｍ^{2}から約３５Ｗｈ／ｍ^2、約１５Ｗｈ／ｍ^{2}から約４５Ｗｈ／ｍ^2、約２０Ｗｈ／ｍ^{2}から約２５Ｗｈ／ｍ^2、約２０Ｗｈ／ｍ^{2}から約３０Ｗｈ／ｍ^2、約２０Ｗｈ／ｍ^{2}から約３５Ｗｈ／ｍ^2、約２０Ｗｈ／ｍ^{2}から約４５Ｗｈ／ｍ^2、約２５Ｗｈ／ｍ^{2}から約３０Ｗｈ／ｍ^2、約２５Ｗｈ／ｍ^{2}から約３５Ｗｈ／ｍ^2、約２５Ｗｈ／ｍ^{2}から約４５Ｗｈ／ｍ^2、約３０Ｗｈ／ｍ^{2}から約３５Ｗｈ／ｍ^2、約３０Ｗｈ／ｍ^{2}から約４５Ｗｈ／ｍ^2、または約３５Ｗｈ／ｍ^{2}から約４５Ｗｈ／ｍ^{2}の面積エネルギー密度を有する。

【００６９】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約８５ｋＷ／ｍ^{2}から約３６０ｋＷ／ｍ^{2}の面積電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約８５ｋＷ／ｍ^{2}の面積電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約３６０ｋＷ／ｍ^{2}の面積電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約８５ｋＷ／ｍ^{2}から約１００ｋＷ／ｍ^2、約８５ｋＷ／ｍ^{2}から約１５０ｋＷ／ｍ^2、約８５ｋＷ／ｍ^{2}から約２００ｋＷ／ｍ^2、約８５ｋＷ／ｍ^{2}から約２５０ｋＷ／ｍ^2、約８５ｋＷ／ｍ^{2}から約３００ｋＷ／ｍ^2、約８５ｋＷ／ｍ^{2}から約３６０ｋＷ／ｍ^2、約１００ｋＷ／ｍ^{2}から約１５０ｋＷ／ｍ^2、約１００ｋＷ／ｍ^{2}から約２００ｋＷ／ｍ^2、約１００ｋＷ／ｍ^{2}から約２５０ｋＷ／ｍ^2、約１００ｋＷ／ｍ^{2}から約３００ｋＷ／ｍ^2、約１００ｋＷ／ｍ^{2}から約３６０ｋＷ／ｍ^2、約１５０ｋＷ／ｍ^{2}から約２００ｋＷ／ｍ^2、約１５０ｋＷ／ｍ^{2}から約２５０ｋＷ／ｍ^2、約１５０ｋＷ／ｍ^{2}から約３００ｋＷ／ｍ^2、約１５０ｋＷ／ｍ^{2}から約３６０ｋＷ／ｍ^2、約２００ｋＷ／ｍ^{2}から約２５０ｋＷ／ｍ^2、約２００ｋＷ／ｍ^{2}から約３００ｋＷ／ｍ^2、約２００ｋＷ／ｍ^{2}から約３６０ｋＷ／ｍ^2、約２５０ｋＷ／ｍ^{2}から約３００ｋＷ／ｍ^2、約２５０ｋＷ／ｍ^{2}から約３６０ｋＷ／ｍ^2、または約３００ｋＷ／ｍ^{2}から約３６０ｋＷ／ｍ^{2}の面積電力密度を有する。

【００７０】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約６Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約６Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約７０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約６Ｗｈ／ｋｇから約１０Ｗｈ／ｋｇ、約６Ｗｈ／ｋｇから約２０Ｗｈ／ｋｇ、約６Ｗｈ／ｋｇから約３０Ｗｈ／ｋｇ、約６Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約６Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約６Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約６Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約２０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約３０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約３０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、または約６０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。

【００７１】
一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２５Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌの比スタック体積エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約２５Ｗｈ／Ｌの比スタック体積エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約１００Ｗｈ／Ｌの比スタック体積エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２５Ｗｈ／Ｌから約３０Ｗｈ／Ｌ、約２５Ｗｈ／Ｌから約４０Ｗｈ／Ｌ、約２５Ｗｈ／Ｌから約５０Ｗｈ／Ｌ、約２５Ｗｈ／Ｌから約６０Ｗｈ／Ｌ、約２５Ｗｈ／Ｌから約７０Ｗｈ／Ｌ、約２５Ｗｈ／Ｌから約８０Ｗｈ／Ｌ、約２５Ｗｈ／Ｌから約９０Ｗｈ／Ｌ、約２５Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌ、約３０Ｗｈ／Ｌから約４０Ｗｈ／Ｌ、約３０Ｗｈ／Ｌから約５０Ｗｈ／Ｌ、約３０Ｗｈ／Ｌから約６０Ｗｈ／Ｌ、約３０Ｗｈ／Ｌから約７０Ｗｈ／Ｌ、約３０Ｗｈ／Ｌから約８０Ｗｈ／Ｌ、約３０Ｗｈ／Ｌから約９０Ｗｈ／Ｌ、約３０Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌ、約４０Ｗｈ／Ｌから約５０Ｗｈ／Ｌ、約４０Ｗｈ／Ｌから約６０Ｗｈ／Ｌ、約４０Ｗｈ／Ｌから約７０Ｗｈ／Ｌ、約４０Ｗｈ／Ｌから約８０Ｗｈ／Ｌ、約４０Ｗｈ／Ｌから約９０Ｗｈ／Ｌ、約４０Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌ、約５０Ｗｈ／Ｌから約６０Ｗｈ／Ｌ、約５０Ｗｈ／Ｌから約７０Ｗｈ／Ｌ、約５０Ｗｈ／Ｌから約８０Ｗｈ／Ｌ、約５０Ｗｈ／Ｌから約９０Ｗｈ／Ｌ、約５０Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌ、約６０Ｗｈ／Ｌから約７０Ｗｈ／Ｌ、約６０Ｗｈ／Ｌから約８０Ｗｈ／Ｌ、約６０Ｗｈ／Ｌから約９０Ｗｈ／Ｌ、約６０Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌ、約７０Ｗｈ／Ｌから約８０Ｗｈ／Ｌ、約７０Ｗｈ／Ｌから約９０Ｗｈ／Ｌ、約７０Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌ、約８０Ｗｈ／Ｌから約９０Ｗｈ／Ｌ、約８０Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌ、または約９０Ｗｈ／Ｌから約１００Ｗｈ／Ｌの比スタック体積エネルギー密度を有する。
【００７２】
一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約１．５Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約２４０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約５Ｗｈ／ｋｇ、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約１０Ｗｈ／ｋｇ、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約２０Ｗｈ／ｋｇ、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１．５Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇ、約５Ｗｈ／ｋｇから約１０Ｗｈ／ｋｇ、約５Ｗｈ／ｋｇから約２０Ｗｈ／ｋｇ、約５Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約５Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約５Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約５Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約５Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約２０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇ、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇ、または約２００Ｗｈ／ｋｇから約２４０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。
【００７３】
一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは

、少なくとも約１．５ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約２０ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約２０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、または約３０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。

【００７４】

一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１００Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約１００Ｆの全キャパシタンスを有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約５００Ｆから約１００Ｆ、約５００Ｆから約２００Ｆ、約５００Ｆから約３００Ｆ、約５００Ｆから約４００Ｆ、約５００Ｆから約５００Ｆ、約５００Ｆから約７５０Ｆ、約５００Ｆから約１，０００Ｆ、約１００Ｆから約２００Ｆ、約１００Ｆから約３００Ｆ、約１００Ｆから約４００Ｆ、約１００Ｆから約５００Ｆ、約１００Ｆから約７５０Ｆ、約１００Ｆから約１，０００Ｆ、約２００Ｆから約３００Ｆ、約２００Ｆから約４００Ｆ、約２００Ｆから約５００Ｆ、約２００Ｆから約７５０Ｆ、約２００Ｆから約１，０００Ｆ、約３００Ｆから約４００Ｆ、約３００Ｆから約５００Ｆ、約３００Ｆから約７５０Ｆ、約３００Ｆから約１，０００Ｆ、約４００Ｆから約５００Ｆ、約４００Ｆから約７５０Ｆ、約４００Ｆから約１，０００Ｆ、約５００Ｆから約７５０Ｆ、約５００Ｆから約１，０００Ｆ、または約７５０Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。

【００７５】

一部の実施形態では、電極は、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料はケイ素を含む。

【００７６】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約２０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約２００Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１２０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１６０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約１２０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約１６０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１２０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１６０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１２０Ｗ

ｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１６０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約１２０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約１６０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１２０Ｗｈ／ｋｇから約１６０Ｗｈ／ｋｇ、約１２０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約１２０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１６０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約１６０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、または約１８０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。

【００７７】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約０．５ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、または約１５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。

【００７８】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約６０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約６０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約５００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約６０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約２５０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約３５０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約２５０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約３５０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約１５０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２５０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約３５０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約２５０Ｗｈ／ｋｇ、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約３５０Ｗｈ／ｋｇ

、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１５０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約２５０Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約３５０Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約３５０Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約３５０Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約３５０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約３５０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、または約４００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。

【００７９】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約１．５ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約２０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約３ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約３ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、または約１５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。

【００８０】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約５０Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約５０Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料がケイ素を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約５０Ｆから約１００Ｆ、約５０Ｆから約２００Ｆ、約５０Ｆから約３００Ｆ、約５０Ｆから約４００Ｆ、約５０Ｆから約５００Ｆ、約５０Ｆから約７５０Ｆ、約５０Ｆから約１，０００Ｆ、約１００Ｆから約２００Ｆ、約１００Ｆから約３００Ｆ、約１００Ｆから約４００Ｆ、約１００Ｆから約５００Ｆ、約１００Ｆから約７５０Ｆ、約１００Ｆから約１，０００Ｆ、約２００Ｆから約３００Ｆ、約２００Ｆから約４００Ｆ、約２００Ｆから約５００Ｆ、約２００Ｆから約７５０Ｆ、約２００Ｆから約１，０００Ｆ、約３００Ｆから約４００Ｆ、約３００Ｆから約５００Ｆ、約３００Ｆから約７５０Ｆ、約３００Ｆから約１，０００Ｆ、約４００Ｆから約５００Ｆ、約４００Ｆから約７５０Ｆ、約４００Ｆから約１，０００Ｆ、約５００Ｆから約７５０Ｆ、約５００Ｆから約１，０００Ｆ、または約７５０Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。

【００８１】

一部の実施形態では、電極は、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料は硫黄を含む。

【００８２】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１６Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約１６Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１６Ｗｈ／ｋｇから約２５Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約１６Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２５Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、または約６００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。

【００８３】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約０．５ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約８ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約３ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約４ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約７ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約３ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約４ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約７ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約３ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約４ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約７ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約４

ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約７ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約７ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約７ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約６ｋＷ／ｋｇから約７ｋＷ／ｋｇ、約６ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、または約７ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する。

【００８４】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約２５０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約７５０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２５０Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇ、または約６００Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する。

【００８５】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約０．５ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約１８ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約４ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１２ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１４ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約４ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１２ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１４ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約４ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１２ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１４ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約２ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約６ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約１２ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約１４ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約４ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、約６ｋＷ／ｋｇから約８ｋＷ／ｋｇ、約６ｋＷ／ｋｇから約１２ｋＷ／ｋｇ、約６ｋＷ／ｋｇから約１４ｋＷ／ｋｇ、約６ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約６ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、約８ｋＷ／ｋｇから約１２ｋＷ／ｋｇ、約８ｋＷ／ｋｇから約１

４ｋＷ／ｋｇ、約８ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約８ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、約１２ｋＷ／ｋｇから約１４ｋＷ／ｋｇ、約１２ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約１２ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、約１４ｋＷ／ｋｇから約１６ｋＷ／ｋｇ、約１４ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇ、または約１６ｋＷ／ｋｇから約１８ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。

【００８６】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約５０Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約５０Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約５０Ｆから約１００Ｆ、約５０Ｆから約２００Ｆ、約５０Ｆから約３００Ｆ、約５０Ｆから約４００Ｆ、約５０Ｆから約５００Ｆ、約５０Ｆから約７５０Ｆ、約５０Ｆから約１，０００Ｆ、約１００Ｆから約２００Ｆ、約１００Ｆから約３００Ｆ、約１００Ｆから約４００Ｆ、約１００Ｆから約５００Ｆ、約１００Ｆから約７５０Ｆ、約１００Ｆから約１，０００Ｆ、約２００Ｆから約３００Ｆ、約２００Ｆから約４００Ｆ、約２００Ｆから約５００Ｆ、約２００Ｆから約７５０Ｆ、約２００Ｆから約１，０００Ｆ、約３００Ｆから約４００Ｆ、約３００Ｆから約５００Ｆ、約３００Ｆから約７５０Ｆ、約３００Ｆから約１，０００Ｆ、約４００Ｆから約５００Ｆ、約４００Ｆから約７５０Ｆ、約４００Ｆから約１，０００Ｆ、約５００Ｆから約７５０Ｆ、約５００Ｆから約１，０００Ｆ、または約７５０Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。

【００８７】

一部の実施形態では、電極は、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料は硫黄遷移金属酸化物を含む。

【００８８】

一部の実施形態では、遷移金属酸化物は、酸化ハフニウム（ＩＶ）、二酸化オスミウム、酸化パラジウム（ＩＩ）、酸化レニウム（ＩＶ）、ルテニウム酸ストロンチウム、チタン酸ストロンチウム、五酸化タングステン、三酸化タングステン、イットリウムバリウム銅酸化物、五酸化ニオブ、またはこれらの任意の組合せを含む。

【００８９】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約８Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約８Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約９０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約８Ｗｈ／ｋｇから約１０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約２０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約３０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約８Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約２０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約３０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約１０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約３０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋ

ｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約３０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約５０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約５０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約７０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、約７０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約７０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇ、または約８０Ｗｈ／ｋｇから約９０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。

【００９０】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約０．５ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約２０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約１５ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、または約１５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。

【００９１】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約２０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約２８０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約２０Ｗｈ／ｋｇから約４０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１４０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約２２０Ｗｈ／ｋｇ、約２０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約６０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約１４０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約２２０Ｗｈ／ｋｇ、約４０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約８０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１４０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約２２０Ｗｈ／ｋｇ、約６０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１４０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ

、約８０Ｗｈ／ｋｇから約２２０Ｗｈ／ｋｇ、約８０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約１４０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２２０Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇ、約１４０Ｗｈ／ｋｇから約１８０Ｗｈ／ｋｇ、約１４０Ｗｈ／ｋｇから約２２０Ｗｈ／ｋｇ、約１４０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇ、約１８０Ｗｈ／ｋｇから約２２０Ｗｈ／ｋｇ、約１８０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇ、または約２２０Ｗｈ／ｋｇから約２８０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。

【００９２】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約１．５ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約１．５ｋＷ／ｋｇから約３ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約１．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約５ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約３ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約１０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約１０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、約２０ｋＷ／ｋｇから約３０ｋＷ／ｋｇ、約２０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇ、または約３０ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する。

【００９３】

電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約５０Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約５０Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。電極が、複合材料を含む複合電極を含み、複合材料が遷移金属酸化物を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約５０Ｆから約１００Ｆ、約５０Ｆから約２００Ｆ、約５０Ｆから約３００Ｆ、約５０Ｆから約４００Ｆ、約５０Ｆから約５００Ｆ、約５０Ｆから約７５０Ｆ、約５０Ｆから約１，０００Ｆ、約１００Ｆから約２００Ｆ、約１００Ｆから約３００Ｆ、約１００Ｆから約４００Ｆ、約１００Ｆから約５００Ｆ、約１００Ｆから約７５０Ｆ、約１００Ｆから約１，０００Ｆ、約２００Ｆから約３００Ｆ、約２００Ｆから約４００Ｆ、約２００Ｆから約５００Ｆ、約２００Ｆから約７５０Ｆ、約２００Ｆから約１，０００Ｆ、約３００Ｆから約４００Ｆ、約３００Ｆから約５００Ｆ、約３００Ｆから約７５０Ｆ、約３００Ｆから約１，０００Ｆ、約４００Ｆから約５００Ｆ、約４００Ｆから約７５０Ｆ、約４００Ｆから約１，０００Ｆ、約５００Ｆから約７５０Ｆ、約５００Ｆから約１，０００Ｆ、または約７５０Ｆから約１，０００Ｆの全キャパシタンスを有する。

【００９４】

一部の実施形態では、第１の電極および第２の電極は複合電極を含み、第１の電極の複合材料はケイ素を含み、第２の電極の複合材料は硫黄を含む。

【００９５】

第１の電極および第２の電極が複合電極を含み、第１の電極の複合材料がケイ素を含み、第２の電極の複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約７５Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。第１の電極および第２の電極が複合電極を含み、第１の電極の複合材料がケイ素を含み、第２の電極の複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、少なくとも約７５Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。第１の電極および第２の電極が複合電極を含み、第１の電極の複合材料がケイ素を含み、第２の電極の複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、最大で約９００Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。第１の電極および第２の電極が複合電極を含み、第１の電極の複合材料がケイ素を含み、第２の電極の複合材料が硫黄を含む一部の実施形態では、エネルギー貯蔵デバイスは、約７５Ｗｈ／ｋｇから約１００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約７００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約７５Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約２００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約７００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約１００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約３００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約７００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約２００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約４００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約７００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約３００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約５００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約７００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約４００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約６００Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約７００Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約５００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約６００Ｗｈ／ｋｇから約７００Ｗｈ／ｋｇ、約６００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約６００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、約７００Ｗｈ／ｋｇから約８００Ｗｈ／ｋｇ、約７００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇ、または約８００Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する。

【００９６】

本明細書で提示される第３の実施形態は：酸化グラフェンおよび第１の溶媒の溶液を形成すること；溶液を加熱して、穴のある酸化グラフェンを形成すること；溶液中の穴のある酸化グラフェンを遠心分離すること；穴のある酸化グラフェンを第２の溶媒中で洗浄すること；穴のある酸化グラフェンの分散体を第３の溶媒中で形成すること；および分散体に酸を添加して、穴のある酸化グラフェンフレームワークを形成することを含む、電極を構成する方法である。

【００９７】

一部の実施形態では、方法は、電極をロールツーロール法で形成することが可能である。一部の実施形態では、方法は、電極をロールツーロール法で連続的に形成することが可能である。

【００９８】

一部の実施形態では、溶液中の酸化グラフェンの濃度は、約１．２ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌである。一部の実施形態では、溶液中の酸化グラフェンの濃度は少なくとも約１．２ｇ／Ｌである。一部の実施形態では、溶液中の酸化グラフェンの濃度は最大で約５ｇ／Ｌで

ある。一部の実施形態では、溶液中の酸化グラフェンの濃度は、約１．２ｇ／Ｌから約１．５ｇ／Ｌ、約１．２ｇ／Ｌから約１．７５ｇ／Ｌ、約１．２ｇ／Ｌから約２ｇ／Ｌ、約１．２ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約１．２ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約１．２ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約１．２ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約１．２ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約１．７５ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約２ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約２ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌ、約３ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約３ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約３ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌ、約３．５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約３．５ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌ、または約４ｇ／Ｌから約５ｇ／Ｌである。

【００９９】

一部の実施形態では、第１の溶媒は、酸素、オゾン、過酸化水素、二酸化フルオライト、過酸化リチウム、過酸化バリウム、フッ素、塩素、硝酸、硝酸塩化合物、硫酸、ペルオキシ二硫酸、ペルオキシ一硫酸、亜塩素酸塩、塩素酸塩、過塩素酸塩、ハロゲン化合物次亜塩素酸塩、次亜ハロゲン酸塩化合物、家庭用漂白剤、６価クロム化合物、クロム酸、二クロム酸、三酸化クロム、クロロクロム酸ピリジニウム、クロム酸化合物、二クロム酸化合物、過マンガン酸化合物、過マンガン酸カリウム、過ホウ酸ナトリウム、亜酸化窒素、硝酸カリウム、ビスマス酸ナトリウム、またはこれらの任意の組合せを含む、酸化剤を含む。

【０１００】

一部の実施形態では、溶液を、約５０℃から約２００℃の温度に加熱する。一部の実施形態では、溶液を、少なくとも約５０℃の温度に加熱する。一部の実施形態では、溶液を、最高で約２００℃の温度に加熱する。一部の実施形態では、溶液を、約５０℃から約７５℃、約５０℃から約１００℃、約５０℃から約１２５℃、約５０℃から約１５０℃、約５０℃から約１７５℃、約５０℃から約２００℃、約７５℃から約１００℃、約７５℃から約１２５℃、約７５℃から約１５０℃、約７５℃から約１７５℃、約７５℃から約２００℃、約１００℃から約１２５℃、約１００℃から約１５０℃、約１００℃から約１７５℃、約１００℃から約２００℃、約１２５℃から約１５０℃、約１２５℃から約１７５℃、約１２５℃から約２００℃、約１５０℃から約１７５℃、約１５０℃から約２００℃、または約１７５℃から約２００℃の温度に加熱する。

【０１０１】

一部の実施形態では、溶液を加熱する期間は約１２時間から約４８時間である。一部の実施形態では、溶液を加熱する期間は少なくとも約１２時間である。一部の実施形態では、溶液を加熱する期間は最長で約４８時間である。一部の実施形態では、溶液を加熱する期間は約１２時間から約１８時間、約１２時間から約２４時間、約１２時間から約３０時間、約１２時間から約３６時間、約１２時間から約４２時間、約１２時間から約４８時間、約１８時間から約２４時間、約１８時間から約３０時間、約１８時間から約３６時間、約１８時間から約４２時間、約１８時間から約４８時間、約２４時間から約３０時間、約２４時間から約３６時間、約２４時間から約４２時間、約２４時間から約４８時間、約３０時間から約３６時間、約３０時間から約４２時間、約３０時間から約４８時間、約３６時間から約４２時間、約３６時間から約４８時間、または約４２時間から約４８時間である。

【０１０２】

一部の実施形態では、第２の溶媒および第３の溶媒の少なくとも１種は、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、

またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１０３】
一部の実施形態では、酸は弱酸を含む。一部の実施形態では、弱酸は、ギ酸酢酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１０４】
一部の実施形態は、穴のある酸化グラフェンフレームワークを、鋼、ステンレスニッケル、アルミニウム、銅、ビスマス、クロム、コバルト、ガリウム、金、鉄、インジウム、鉛、マグネシウム、水銀、銀、ナトリウム、スズ、チタン、亜鉛、ジルコニウム、青銅、またはこれらの任意の組合せを含む金属フォーム上に押圧することを、さらに含む。
【０１０５】
一部の実施形態は、穴のある酸化グラフェンフレームワークを：銀、銅、金、アルミニウム、カルシウム、タングステン、亜鉛、タングステン、黄銅、青銅、ニッケル、リチウム、鉄、白金、スズ、炭素鋼、鉛、チタン、ステンレス鋼、水銀、クロム、ヒ化ガリウム、もしくはこれらの任意の組合せを含む金属膜；またはポリフルオレン、ポリフェニレン、ポリピレン、ポリアズレン、ポリナフタレン、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、ポリピロール、ポリカルバゾール、ポリインドール、ポリアゼピネム、ポリアニリン、ポリチオフェン、ポリ３，４－エチレンジオキシチオフェン、ポリｐ－フェニレンスルフィド、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、もしくはこれらの任意の組合せを含むポリマー膜を含む集電体上に堆積することを、さらに含む。
【０１０６】
一部の実施形態では、第１の溶媒は酸化剤を含み、酸化剤は、酸素、オゾン、過酸化水素、二酸化フルオライト、過酸化リチウム、過酸化バリウム、フッ素、塩素、硝酸、硝酸塩化合物、硫酸、ペルオキシ二硫酸、ペルオキシ一硫酸、亜塩素酸塩、塩素酸塩、過塩素酸塩、ハロゲン化合物次亜塩素酸塩、次亜ハロゲン酸塩化合物、家庭用漂白剤、６価クロム化合物、クロム酸、二クロム酸、三酸化クロム、クロロクロム酸ピリジニウム、クロム酸化合物、二クロム酸化合物、過マンガン酸化合物、過マンガン酸カリウム、過ホウ酸ナトリウム、亜酸化窒素、硝酸カリウム、ビスマス酸ナトリウム、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１０７】
一部の実施形態では、第２の溶媒は、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１０８】
一部の実施形態では、第３の溶媒は、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１０９】
一部の実施形態では、酸は弱酸を含む。一部の実施形態では、弱酸は、ギ酸酢酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１１０】
一部の実施形態は、分散体を容器に入れることをさらに含む。
【０１１１】
一部の実施形態は、穴のある酸化グラフェンフレームワークをフォーム上に押圧することをさらに含み、フォームは、鋼、ステンレスニッケル、アルミニウム、銅、ビスマス、クロム、コバルト、ガリウム、金、鉄、インジウム、鉛、マグネシウム、水銀、銀、ナトリウム、スズ、チタン、亜鉛、ジルコニウム、青銅、またはこれらの任意の組合せを含む金属フォームである。
【０１１２】
一部の実施形態は、穴のある酸化グラフェンフレームワークを集電体上に堆積することをさらに含む。

【０１１３】
一部の実施形態では、集電体は、金属膜またはポリマー膜またはこれらの任意の組合せを含み、金属膜は、銀、銅、金、アルミニウム、カルシウム、タングステン、亜鉛、タングステン、黄銅、青銅、ニッケル、リチウム、鉄、白金、スズ、炭素鋼、鉛、チタン、ステンレス鋼、水銀、クロム、ヒ化ガリウム、またはこれらの任意の組合せを含む金属皮膜を含む。
【０１１４】
一部の実施形態では、集電体はポリマー膜を含み、ポリマー膜は、ポリフルオレン、ポリフェニレン、ポリピレン、ポリアズレン、ポリナフタレン、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、ポリピロール、ポリカルバゾール、ポリインドール、ポリアゼピネム、ポリアニリン、ポリチオフェン、ポリ３，４－エチレンジオキシチオフェン、ポリｐ－フェニレンスルフィド、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１１５】
本明細書で提供される第４の態様は、超高硫黄含量の３次元グラフェンフレームワークで電極を構成する方法であり、方法は：酸化グラフェン懸濁液を形成すること、および懸濁液を乾燥させることを含む、酸化グラフェンを合成すること；ならびに硫黄前駆体を酸化グラフェン懸濁液および第１の溶媒に添加すること；第１の酸を添加して第１の溶液を形成すること、第１の溶液を撹拌すること、第２の酸を第１の溶液に添加して第２の溶液を形成すること、第２の溶液を加熱すること、第２の溶液を第２の溶媒中で洗浄すること、第２の溶液を凍結乾燥することを含む、酸化グラフェンから複合硫黄－酸化グラフェンを合成することを含む。
【０１１６】
一部の実施形態では、硫黄前駆体は、チオ硫酸ナトリウム、アルカリ性チオ硫酸ナトリウム、チオ硫酸アンモニウム、チオ硫酸バリウム、チオ硫酸カルシウム、金（Ｉ）チオ硫酸ナトリウム無水物、チオ硫酸カリウム、スルフェート、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１１７】
一部の実施形態では、スルフェートは、アンモニウムアルミニウムスルフェートヒドロキシド、アンモニウム鉄スルフェートヒドロキシド、バリウムアルミニウムスルフェートオキシドヒドロキシド、バリウムクロメートスルフェート、硫酸バリウム、ビューダン石鉛鉄アルセネートスルフェートヒドロキシド、カルシウムアルミニウムアルセネートスルフェートヒドロキシド、カルシウムアルミニウムスルフェートオキシドヒドロキシド、硫酸カルシウム、銅鉄アルミニウムスルフェートヒドロキシド、銅鉛カーボネートスルフェートヒドロキシド、銅スルフェートヒドロキシド、水和アルミニウムスルフェートヒドロキシド、水和カルシウムアルミニウムケイ素ヒドロボレートスルフェートヒドロキシド、水和カルシウムアルミニウムスルフェートフルオリド（fluroide）ヒドロキシド、水和カルシウムアルミニウムスルフェートヒドロキシド、水和カルシウムカーボネートスルフェート、水和カルシウム銅スルフェートヒドロキシド、水和カルシウム銅亜鉛スルフェートヒドロキシド、水和カルシウム鉄アルミニウムマンガンスルフェートテトラヒドロキソボレートヒドロキシド、水和カルシウムマグネシウムカーボネートスルフェートクロリドヒドロキシド、水和カルシウムマンガンカーボネートスルフェートヒドロキシド、水和カルシウムマンガンスルフェートヒドロキシド、水和カルシウムケイ素カーボネートスルフェートヒドロキシド、水和硫酸カルシウム、水和コバルトマグネシウムニッケルアルミニウムスルフェート、水和コバルトマンガンニッケルスルフェート、水和硫酸コバルト、水和銅アルミニウムスルフェートヒドロキシドクロリド、水和銅アルミニウムスルフェートヒドロキシド、水和銅アルミニウムスルフェートヒドロキシド、水和銅カーボネートスルフェートヒドロキシド、水和銅鉄亜鉛スルフェート、水和銅スルフェートヒドロキシドクロリド、水和銅スルフェートヒドロキシド、水和硫酸銅、水和硫酸銅、水和銅ウラニルスルフェートヒドロキシド、水和銅亜鉛スルフェートヒドロキシド、水和水素カルシウムアル

ミニウムアルセネートスルフェートヒドロキシド、水和鉄アルミニウムスルフェート、水和鉄マグネシウムニッケルクロムアルミニウムスルフェート、水和鉄マグネシウムスルフェートヒドロキシド、水和鉄スルフェートヒドロキシド、水和鉄スルフェートヒドロキシド、水和硫酸鉄、水和硫酸鉄、水和硫酸鉄、水和硫酸鉄、水和硫酸鉄、水和マグネシウムアルミニウムスルフェート、水和マグネシウム鉄スルフェートヒドロキシド、水和マグネシウムマンガン亜鉛スルフェートヒドロキシド、水和マグネシウムニッケル鉄クロムアルミニウムカーボネートスルフェートヒドロキシド、水和硫酸マグネシウム、水和硫酸マグネシウム、水和硫酸マグネシウム、水和硫酸マグネシウム、水和硫酸マグネシウム、水和マグネシウム亜鉛マンガンスルフェートヒドロキシド、水和マンガンアルミニウムスルフェート、水和硫酸マンガン、水和硫酸マンガン、水和硫酸マンガン、水和マンガン亜鉛鉄スルフェート、水和ニッケル鉄スルフェート、水和硫酸ニッケル、水和硫酸ニッケル、水和カリウムアルミニウムスルフェート、水和カリウムカルシウムマグネシウムスルフェート、水和カリウム鉄スルフェート、水和カリウムマグネシウムスルフェート、水和カリウムナトリウム鉄ニトレートスルフェート、水和カリウムナトリウムマグネシウムニトレートスルフェート、水和カリウムウラニルスルフェートヒドロキシド、水和ナトリウムカルシウムマグネシウム亜鉛アルミニウムシリケートスルフェートヒドロキシド、水和ナトリウムマグネシウムスルフェート、水和硫酸ナトリウム、水和ウラニルスルフェートヒドロキシド、水和亜鉛銅鉄スルフェート、水和亜鉛鉄マンガンアルミニウムスルフェート、水和亜鉛マグネシウムスルフェート、水和亜鉛マンガンスルフェート、水和硫酸亜鉛、ヒドロニウム鉄スルフェートヒドロキシド、鉛アルミニウムアルセネートスルフェートヒドロキシド、鉛アルミニウムホスフェートスルフェートヒドロキシド、鉛銅アルミニウムスルフェートヒドロキシド、鉛銅鉄アルミニウムスルフェートヒドロキシド、鉛銅スルフェートヒドロキシド、鉛銅スルフェートシリケートヒドロキシド、鉛ガリウムアルセネートスルフェートヒドロキシド、鉛鉄ホスフェートスルフェートヒドロキシド、鉛鉄スルフェートヒドロキシド、鉛鉄スルフェートヒドロキシド、鉛ストロンチウムアルミニウムホスフェートスルフェートヒドロキシド、硫酸鉛、硫酸鉛、マグネシウムマンガン亜鉛鉄カーボネートスルフェートヒドロキシド、カリウムアルミニウムスルフェートヒドロキシド、カリウム鉄スルフェートヒドロキシド、カリウムナトリウムスルフェート、銀鉄スルフェートヒドロキシド、銀鉄スルフェートヒドロキシド、ナトリウムアルミニウムスルフェートヒドロキシド、ナトリウムカルシウムボレートスルフェートクロリドヒドロキシド、ナトリウムカルシウムカリウムアルミニウムスルフェートヒドロキシド、ナトリウムカルシウムスルフェート、ナトリウムカーボネートスルフェート、ナトリウムイオレートスルフェート、ナトリウム鉄スルフェートヒドロキシド、ナトリウムマグネシウムスルフェート、ナトリウムカリウムカーボネートスルフェートクロリド、硫酸ナトリウム、ストロンチウムアルミニウムホスフェートスルフェートヒドロキシド、ストロンチウムセリウムアルミニウムアルセネートスルフェートヒドロキシド、硫酸ストロンチウム、タリウムカリウム鉄スルフェートヒドロキシド、またはこれらの任意の組合せを含む。

【０１１８】

一部の実施形態では、第１の溶媒および第２の溶媒の少なくとも１種は、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、脱イオン水、またはこれらの任意の組合せを含む。

【０１１９】

一部の実施形態では、第１の酸は、過塩素酸、ヨウ化水素酸、臭化水素酸、塩酸、硫酸、ｐ－トルエンスルホン酸、メタンスルホン酸、またはこれらの任意の組合せを含む。

【０１２０】

一部の実施形態では、第２の酸は、ギ酸、アスコルビン酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、または任意のこれらの組合せを含む。

【０１２１】

一部の実施形態では、硫黄前駆体の濃度は約０．５Ｍから約２Ｍである。一部の実施形態では、硫黄前駆体の濃度は少なくとも約０．５Ｍである。一部の実施形態では、硫黄前

駆体の濃度は最大で約２Ｍである。一部の実施形態では、硫黄前駆体の濃度は、約０．５Ｍから約０．７５Ｍ、約０．５Ｍから約１Ｍ、約０．５Ｍから約１．２５Ｍ、約０．５Ｍから約１．５Ｍ、約０．５Ｍから約１．７５Ｍ、約０．５Ｍから約２Ｍ、約０．７５Ｍから約１Ｍ、約０．７５Ｍから約１．２５Ｍ、約０．７５Ｍから約１．５Ｍ、約０．７５Ｍから約１．７５Ｍ、約０．７５Ｍから約２Ｍ、約１Ｍから約１．２５Ｍ、約１Ｍから約１．５Ｍ、約１Ｍから約１．７５Ｍ、約１Ｍから約２Ｍ、約１．２５Ｍから約１．５Ｍ、約１．２５Ｍから約１．７５Ｍ、約１．２５Ｍから約２Ｍ、約１．５Ｍから約１．７５Ｍ、約１．５Ｍから約２Ｍ、または約１．７５Ｍから約２Ｍである。

【０１２２】

一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の濃度は約１．１ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌである。一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の濃度は少なくとも約１．１ｇ／Ｌである。一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の濃度は最大で約４．６ｇ／Ｌである。一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の濃度は、約１．１ｇ／Ｌから約１．２５ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約１．５ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約１．７５ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約２ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約１．１ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約１．５ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約１．７５ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約２ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約１．２５ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約１．７５ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約２ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約１．５ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約２ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約１．７５ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約２．５ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約２ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約３ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約２．５ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、約３ｇ／Ｌから約３．５ｇ／Ｌ、約３ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約３ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、約３．５ｇ／Ｌから約４ｇ／Ｌ、約３．５ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌ、または約４ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌである。

【０１２３】

一部の実施形態では、第１の酸および第２の酸の少なくとも１種の濃度は少なくとも約０．５Ｍである。一部の実施形態では、第１の酸および第２の酸の少なくとも１種の濃度は最大で約４Ｍである。一部の実施形態では、第１の酸および第２の酸の少なくとも１種の濃度は約０．５Ｍから約４Ｍである。一部の実施形態では、第１の酸および第２の酸の少なくとも１種の濃度は、約０．５Ｍから約１Ｍ、約０．５Ｍから約１．５Ｍ、約０．５Ｍから約２Ｍ、約０．５Ｍから約２．５Ｍ、約０．５Ｍから約３Ｍ、約０．５Ｍから約３．５Ｍ、約０．５Ｍから約４Ｍ、約１Ｍから約１．５Ｍ、約１Ｍから約２Ｍ、約１Ｍから約２．５Ｍ、約１Ｍから約３Ｍ、約１Ｍから約３．５Ｍ、約１Ｍから約４Ｍ、約１．５Ｍから約２Ｍ、約１．５Ｍから約２．５Ｍ、約１．５Ｍから約３Ｍ、約１．５Ｍから約３．５Ｍ、約１．５Ｍから約４Ｍ、約２Ｍから約２．５Ｍ、約２Ｍから約３Ｍ、約２Ｍから約３．５Ｍ、約２Ｍから約４Ｍ、約２．５Ｍから約３Ｍ、約２．５Ｍから約３．５Ｍ、約２．５Ｍから約４Ｍ、約３Ｍから約３．５Ｍ、約３Ｍから約４Ｍ、または約３．５Ｍから約４Ｍである。

【０１２４】

一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される温度は約４８℃から約１９０℃である。一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される温度は少なくとも約４８℃である。一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される温度は最高で約１９０℃である。一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される温度は、約４８℃から約６０℃、約４８℃から約８０℃、

約４８℃から約１００℃、約４８℃から約１２０℃、約４８℃から約１４０℃、約４８℃から約１６０℃、約４８℃から約１９０℃、約６０℃から約８０℃、約６０℃から約１００℃、約６０℃から約１２０℃、約６０℃から約１４０℃、約６０℃から約１６０℃、約６０℃から約１９０℃、約８０℃から約１００℃、約８０℃から約１２０℃、約８０℃から約１４０℃、約８０℃から約１６０℃、約８０℃から約１９０℃、約１００℃から約１２０℃、約１００℃から約１４０℃、約１００℃から約１６０℃、約１００℃から約１９０℃、約１２０℃から約１４０℃、約１２０℃から約１６０℃、約１２０℃から約１９０℃、約１４０℃から約１６０℃、約１４０℃から約１９０℃、または約１６０℃から約１９０℃である。

【０１２５】

一部の実施形態では、酸化グラフェン懸濁液の形成は、Ｈｕｍｍｅｒ法によって行われる。

【０１２６】

一部の実施形態では、方法は、電極をロールツーロール法で連続的に形成する。

【０１２７】

一部の実施形態では、懸濁液を、約１２時間から約２４時間の期間乾燥させる。一部の実施形態では、懸濁液を、少なくとも約１２時間の期間乾燥させる。一部の実施形態では、懸濁液を、最長で約２４時間の期間乾燥させる。一部の実施形態では、懸濁液を、約１２時間から約１４時間、約１２時間から約１６時間、約１２時間から約１８時間、約１２時間から約２０時間、約１２時間から約２２時間、約１２時間から約２４時間、約１４時間から約１６時間、約１４時間から約１８時間、約１４時間から約２０時間、約１４時間から約２２時間、約１４時間から約２４時間、約１６時間から約１８時間、約１６時間から約２０時間、約１６時間から約２２時間、約１６時間から約２４時間、約１８時間から約２０時間、約１８時間から約２２時間、約１８時間から約２４時間、約２０時間から約２２時間、約２０時間から約２４時間、または約２２時間から約２４時間の期間乾燥させる。

【０１２８】

一部の実施形態では、懸濁液を乾燥させる温度は約５０℃から約１５０℃である。一部の実施形態では、懸濁液を乾燥させる温度は少なくとも約５０℃である。一部の実施形態では、懸濁液を乾燥させる温度は最高で約１５０℃である。一部の実施形態では、懸濁液を乾燥させる温度は、約５０℃から約７５℃、約５０℃から約１００℃、約５０℃から約１２５℃、約５０℃から約１５０℃、約７５℃から約１００℃、約７５℃から約１２５℃、約７５℃から約１５０℃、約１００℃から約１２５℃、約１００℃から約１５０℃、または約１２５℃から約１５０℃である。

【０１２９】

一部の実施形態は：硫黄前駆体の一部を、酸化グラフェン懸濁液および第１の溶媒に添加すること；第１の酸を添加して第１の溶液を形成すること；第１の溶液を撹拌すること；第２の酸を第１の溶液に添加して、第２の溶液を形成すること；第２の溶液を加熱すること；第２の溶液を第２の溶媒中で洗浄すること；および第２の溶液を凍結乾燥することを、さらに含む。

【０１３０】

一部の実施形態では、硫黄前駆体の体積は約０．０５ｍｌから約２ｍｌである。一部の実施形態では、硫黄前駆体の体積は少なくとも約０．０５ｍｌである。一部の実施形態では、硫黄前駆体の体積は最大で約２ｍｌである。一部の実施形態では、硫黄前駆体の体積は、約０．０５ｍｌから約０．１ｍｌ、約０．０５ｍｌから約０．２５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約０．５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約０．７５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約１ｍｌ、約０．０５ｍｌから約１．２５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約１．５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約１．７５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約２ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．２５ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．５ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．７５ｍｌ、約０．１ｍｌから約１ｍｌ、約０．１ｍｌから約１．２５ｍｌ、約０．１ｍｌから約１．５ｍｌ、約０．

１ｍｌから約１．７５ｍｌ、約０．１ｍｌから約２ｍｌ、約０．２５ｍｌから約０．５ｍｌ、約０．２５ｍｌから約０．７５ｍｌ、約０．２５ｍｌから約１ｍｌ、約０．２５ｍｌから約１．２５ｍｌ、約０．２５ｍｌから約１．５ｍｌ、約０．２５ｍｌから約１．７５ｍｌ、約０．２５ｍｌから約２ｍｌ、約０．５ｍｌから約０．７５ｍｌ、約０．５ｍｌから約１ｍｌ、約０．５ｍｌから約１．２５ｍｌ、約０．５ｍｌから約１．５ｍｌ、約０．５ｍｌから約１．７５ｍｌ、約０．５ｍｌから約２ｍｌ、約０．７５ｍｌから約１ｍｌ、約０．７５ｍｌから約１．２５ｍｌ、約０．７５ｍｌから約１．５ｍｌ、約０．７５ｍｌから約１．７５ｍｌ、約０．７５ｍｌから約２ｍｌ、約１ｍｌから約１．２５ｍｌ、約１ｍｌから約１．５ｍｌ、約１ｍｌから約１．７５ｍｌ、約１ｍｌから約２ｍｌ、約１．２５ｍｌから約１．５ｍｌ、約１．２５ｍｌから約１．７５ｍｌ、約１．２５ｍｌから約２ｍｌ、約１．５ｍｌから約１．７５ｍｌ、約１．５ｍｌから約２ｍｌ、または約１．７５ｍｌから約２ｍｌである。

【０１３１】

一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の体積は約０．１ｍｌから約０．５ｍｌである。一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の体積は少なくとも約０．１ｍｌである。一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の体積は最大で約０．５ｍｌである。一部の実施形態では、ＧＯ懸濁液の体積は、約０．１ｍｌから約０．２ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．３ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．４ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．５ｍｌ、約０．２ｍｌから約０．３ｍｌ、約０．２ｍｌから約０．４ｍｌ、約０．２ｍｌから約０．５ｍｌ、約０．３ｍｌから約０．４ｍｌ、約０．３ｍｌから約０．５ｍｌ、または約０．４ｍｌから約０．５ｍｌである。

【０１３２】

一部の実施形態では、第１の溶媒の体積は約０．３ｍｌから約１．２ｍｌである。一部の実施形態では、第１の溶媒の体積は少なくとも約０．３ｍｌである。一部の実施形態では、第１の溶媒の体積は最大で約１．２ｍｌである。一部の実施形態では、第１の溶媒の体積は、約０．３ｍｌから約０．４ｍｌ、約０．３ｍｌから約０．５ｍｌ、約０．３ｍｌから約０．６ｍｌ、約０．３ｍｌから約０．７ｍｌ、約０．３ｍｌから約０．８ｍｌ、約０．３ｍｌから約０．９ｍｌ、約０．３ｍｌから約１ｍｌ、約０．３ｍｌから約１．１ｍｌ、約０．３ｍｌから約１．２ｍｌ、約０．４ｍｌから約０．５ｍｌ、約０．４ｍｌから約０．６ｍｌ、約０．４ｍｌから約０．７ｍｌ、約０．４ｍｌから約０．８ｍｌ、約０．４ｍｌから約０．９ｍｌ、約０．４ｍｌから約１ｍｌ、約０．４ｍｌから約１．１ｍｌ、約０．４ｍｌから約１．２ｍｌ、約０．５ｍｌから約０．６ｍｌ、約０．５ｍｌから約０．７ｍｌ、約０．５ｍｌから約０．８ｍｌ、約０．５ｍｌから約０．９ｍｌ、約０．５ｍｌから約１ｍｌ、約０．５ｍｌから約１．１ｍｌ、約０．５ｍｌから約１．２ｍｌ、約０．６ｍｌから約０．７ｍｌ、約０．６ｍｌから約０．８ｍｌ、約０．６ｍｌから約０．９ｍｌ、約０．６ｍｌから約１ｍｌ、約０．６ｍｌから約１．１ｍｌ、約０．６ｍｌから約１．２ｍｌ、約０．７ｍｌから約０．８ｍｌ、約０．７ｍｌから約０．９ｍｌ、約０．７ｍｌから約１ｍｌ、約０．７ｍｌから約１．１ｍｌ、約０．７ｍｌから約１．２ｍｌ、約０．８ｍｌから約０．９ｍｌ、約０．８ｍｌから約１ｍｌ、約０．８ｍｌから約１．１ｍｌ、約０．８ｍｌから約１．２ｍｌ、約０．９ｍｌから約１ｍｌ、約０．９ｍｌから約１．１ｍｌ、約０．９ｍｌから約１．２ｍｌ、約１ｍｌから約１．１ｍｌ、約１ｍｌから約１．２ｍｌ、または約１．１ｍｌから約１．２ｍｌである。

【０１３３】

一部の実施形態では、第１の溶媒は、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、脱イオン水、またはこれらの任意の組合せを含む。

【０１３４】

一部の実施形態では、第１の酸の体積は約０．０５ｍｌから約０．２ｍｌである。一部の実施形態では、第１の酸の体積は少なくとも約０．０５ｍｌである。一部の実施形態では、第１の酸の体積は最大で約０．２ｍｌである。一部の実施形態では、第１の酸の体積は、約０．０５ｍｌから約０．０７５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約０．１ｍｌ、約０．０

５ｍｌから約０．１２５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約０．１５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約０．１７５ｍｌ、約０．０５ｍｌから約０．２ｍｌ、約０．０７５ｍｌから約０．１ｍｌ、約０．０７５ｍｌから約０．１２５ｍｌ、約０．０７５ｍｌから約０．１５ｍｌ、約０．０７５ｍｌから約０．１７５ｍｌ、約０．０７５ｍｌから約０．２ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．１２５ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．１５ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．１７５ｍｌ、約０．１ｍｌから約０．２ｍｌ、約０．１２５ｍｌから約０．１５ｍｌ、約０．１２５ｍｌから約０．１７５ｍｌ、約０．１２５ｍｌから約０．２ｍｌ、約０．１５ｍｌから約０．１７５ｍｌ、約０．１５ｍｌから約０．２ｍｌ、または約０．１７５ｍｌから約０．２ｍｌである。

【０１３５】

一部の実施形態では、第１の酸は強酸である。一部の実施形態では、強酸は、過塩素酸、ヨウ化水素酸、臭化水素酸、塩酸、硫酸、ｐ－トルエンスルホン酸、メタンスルホン酸、またはこれらの任意の組合せを含む。一部の実施形態では、第１の酸は滴下添加される。

【０１３６】

一部の実施形態では、第１の溶液を、約１時間から約４時間の期間撹拌する。一部の実施形態では、第１の溶液を、少なくとも約１時間の期間撹拌する。一部の実施形態では、第１の溶液を、最長で約４時間の期間撹拌する。一部の実施形態では、第１の溶液を、約１時間から約１．５時間、約１時間から約２時間、約１時間から約２．５時間、約１時間から約３時間、約１時間から約３．５時間、約１時間から約４時間、約１．５時間から約２時間、約１．５時間から約２．５時間、約１．５時間から約３時間、約１．５時間から約３．５時間、約１．５時間から約４時間、約２時間から約２．５時間、約２時間から約３時間、約２時間から約３．５時間、約２時間から約４時間、約２．５時間から約３時間、約２．５時間から約３．５時間、約２．５時間から約４時間、約３時間から約３．５時間、約３時間から約４時間、または約３．５時間から約４時間の期間撹拌する。

【０１３７】

一部の実施形態では、第２の酸の体積は約１０μＬから約４０μＬである。一部の実施形態では、第２の酸の体積は少なくとも約１０μＬである。一部の実施形態では、第２の酸の体積は最大で約４０μＬである。一部の実施形態では、第２の酸の体積は、約１０μＬから約１５μＬ、約１０μＬから約２０μＬ、約１０μＬから約２５μＬ、約１０μＬから約３０μＬ、約１０μＬから約３５μＬ、約１０μＬから約４０μＬ、約１５μＬから約２０μＬ、約１５μＬから約２５μＬ、約１５μＬから約３０μＬ、約１５μＬから約３５μＬ、約１５μＬから約４０μＬ、約２０μＬから約２５μＬ、約２０μＬから約３０μＬ、約２０μＬから約３５μＬ、約２０μＬから約４０μＬ、約２５μＬから約３０μＬ、約２５μＬから約３５μＬ、約２５μＬから約４０μＬ、約３０μＬから約３５μＬ、約３０μＬから約４０μＬ、または約３５μＬから約４０μＬである。

【０１３８】

一部の実施形態では、第２の酸の濃度は約０．５Ｍから約２Ｍである。一部の実施形態では、第２の酸の濃度は少なくとも約０．５Ｍである。一部の実施形態では、第２の酸の濃度は最大で約２Ｍである。一部の実施形態では、第２の酸の濃度は、約０．５Ｍから約０．７５Ｍ、約０．５Ｍから約１Ｍ、約０．５Ｍから約１．２５Ｍ、約０．５Ｍから約１．５Ｍ、約０．５Ｍから約１．７５Ｍ、約０．５Ｍから約２Ｍ、約０．７５Ｍから約１Ｍ、約０．７５Ｍから約１．２５Ｍ、約０．７５Ｍから約１．５Ｍ、約０．７５Ｍから約１．７５Ｍ、約０．７５Ｍから約２Ｍ、約１Ｍから約１．２５Ｍ、約１Ｍから約１．５Ｍ、約１Ｍから約１．７５Ｍ、約１Ｍから約２Ｍ、約１．２５Ｍから約１．５Ｍ、約１．２５Ｍから約１．７５Ｍ、約１．２５Ｍから約２Ｍ、約１．５Ｍから約１．７５Ｍ、約１．５Ｍから約２Ｍ、または約１．７５Ｍから約２Ｍである。

【０１３９】

一部の実施形態では、第２の酸が弱酸を含む。一部の実施形態では、弱酸は、ギ酸、アスコルビン酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、またはこれらの任意の組合せを含む。

【０１４０】
一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される期間は約１時間から約４時間である。一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される期間は少なくとも約１時間である。一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される期間は最長で約４時間である。一部の実施形態では、第２の溶液が加熱される期間は、約１時間から約１．５時間、約１時間から約２時間、約１時間から約２．５時間、約１時間から約３時間、約１時間から約３．５時間、約１時間から約４時間、約１．５時間から約２時間、約１．５時間から約２．５時間、約１．５時間から約３時間、約１．５時間から約３．５時間、約１．５時間から約４時間、約２時間から約２．５時間、約２時間から約３時間、約２時間から約３．５時間、約２時間から約４時間、約２．５時間から約３時間、約２．５時間から約３．５時間、約２．５時間から約４時間、約３時間から約３．５時間、約３時間から約４時間、または約３．５時間から約４時間である。
【０１４１】
一部の実施形態では、第２の溶媒は、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、脱イオン水、またはこれらの任意の組合せを含む。
【０１４２】
一部の実施形態では、本明細書に記述されるグラフェンフレームワークは、様々な他の電気貯蔵手段または非電気貯蔵手段に用いることができる。
【０１４３】
本明細書に記述される実施形態の他の目標および利点は、以下の記述および添付図面と併せて考慮したときに、さらに認識され理解されよう。以下の記述は、本明細書に記述される特定の実施形態について記述する特定の詳細を含有し得るが、この記述は、本明細書に記述される実施形態の範囲を限定すると解釈されるべきではなく、むしろ好ましい実施形態の具体例と理解されるべきである。本明細書に記述される各実施形態に対して、当業者に公知である本明細書に示されるような多くの変形例が可能である。様々な変更および修正を、本明細書に記述される実施形態の範囲内で、その精神から逸脱することなく行うことができる。
【０１４４】
本開示の新規な特色を、添付される特許請求の範囲で詳細に述べる。本開示の特色および利点のより良好な理解は、実施形態の原理が利用される例示的な実施形態について述べる以下の詳細な記述と、添付図面または図（また本明細書中「ＦＩＧ．」および「ＦＩＧｓ．」）とを参照することによって、得られる。
【図面の簡単な説明】
【０１４５】
【図１Ａ】図１Ａ～Ｃは、他の既存のエネルギー貯蔵技術および性能標的と比較した、３次元グラフェンフレームワークおよび電気化学キャパシタに関する、デバイスレベル重量／体積エネルギー密度対電力密度のＲａｇｏｎｅプロットを示す。
【図１Ｂ】図１Ａ～Ｃは、他の既存のエネルギー貯蔵技術および性能標的と比較した、３次元グラフェンフレームワークおよび電気化学キャパシタに関する、デバイスレベル重量／体積エネルギー密度対電力密度のＲａｇｏｎｅプロットを示す。
【図１Ｃ】図１Ａ～Ｃは、他の既存のエネルギー貯蔵技術および性能標的と比較した、３次元グラフェンフレームワークおよび電気化学キャパシタに関する、デバイスレベル重量／体積エネルギー密度対電力密度のＲａｇｏｎｅプロットを示す。
【０１４６】
【図２】図２は、圧縮されたおよび圧縮されていない、穴のある３次元グラフェンフレームワークならびにグラフェンフレームワークの溶媒和した３次元マクロ多孔質構造の概略図を示す。
【０１４７】
【図３】図３は、集電体上に堆積されている、穴のあるグラフェンのインクの概略図を示

す。
【０１４８】
【図４】図４は、サイズによってリチウムイオンを通過させることが可能になると共により大きい多硫化リチウムの移動を防止する、ナノ細孔を有する、穴のある３次元グラフェンフレームワークの概略図を示す。
【０１４９】
【図５】図５は、３次元グラフェンフレームワークと硫黄の自立型複合体の構造の、およびこの中に封入された硫黄粒子の、概略図を示す。
【０１５０】
【図６】図６は、酸化グラフェン、穴のある酸化グラフェン、および接合させた穴のあるグラフェンヒドロゲルの、水性分散体の、例示的な写真を示す。
【０１５１】
【図７】図７は、酸化グラフェン、$Na_2S_2O_3$およびＨＣｌとの酸化グラフェン、ならびにアスコルビン酸中の還元された酸化グラフェンの溶液の、例示的な写真を示す。
【０１５２】
【図８】図８は、コインセルとパウチセルとの間のサイズの差を示す、例示的な写真を示す。
【０１５３】
【図９】図９は、圧縮されていないおよび圧縮された、穴のある３次元グラフェンフレームワーク（Ｈ３ＤＧＦ）の、内部ミクロ構造の例示的なＳＥＭ画像、機械的圧縮の前後でのＨ３ＤＧＦの例示的な写真、ならびに圧縮されたＨ３ＤＧＦの柔軟性を示す。
【０１５４】
【図１０】図１０は、Ｈ３ＤＧＦ－Nb_2O_5複合体の例示的なＳＥＭ画像を示す。
【０１５５】
【図１１】図１１は、高質量負荷の、Ｈ３ＤＧＦ－Ｓｉ複合体の例示的なＳＥＭ画像を示す。
【０１５６】
【図１２】図１２は、３ＤＧＦ－Ｓ複合体の多孔質相互接続フレームワーク、およびその内部の１μｍ硫黄粒子の、例示的な断面ＳＥＭ画像を示す。
【０１５７】
【図１３】図１３は、３ＤＧＦ－Ｓ複合電極内に封入された硫黄粒子、およびグラフェンポケット内に含有された溶融硫黄の運動の多数のフレームの、例示的な低倍率ＴＥＭ画像を示す。
【０１５８】
【図１４】図１４は、例示的な３ＤＧＦ－Ｓの、例示的な低および高倍率ＳＥＭ画像を示す。
【０１５９】
【図１５】図１５は、Ｈ３ＤＧＦ－Ｓ複合体の、例示的な定電流試験結果を示す。
【０１６０】
【図１６】図１６は、純粋な硫黄、酸化グラフェン／硫黄、および３ＤＧＦ－Ｓであって硫黄含量が約９０％のもの（３ＤＧＦ－Ｓ）の、例示的なＸ線回折結果を示す。
【０１６１】
【図１７】図１７は、異なる硫黄負荷パーセンテージを有するＨ３ＤＧＦ－Ｓ複合体の、例示的なサーモグラフィー試験結果を示す。
【０１６２】
【図１８－１】図１８は、３ＤＧＦ－Ｓ９０の１回目、２０回目、および５０回目のサイクルの、例示的な充放電プロファイル、０．１Ｃでの３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、９０、および９５のサイクリング性能、０．２Ｃ、０．５Ｃ、１Ｃ、および２Ｃでの３ＤＧＦ－Ｓ９０のレート性能、ならびに１Ｃで５００サイクルにわたる３ＤＧＦ－Ｓ９０サイクリングを示す。

【図１８－２】図１８は、３ＤＧＦ－Ｓ９０の１回目、２０回目、および５０回目のサイクルの、例示的な充放電プロファイル、０．１Ｃでの３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、９０、および９５のサイクリング性能、０．２Ｃ、０．５Ｃ、１Ｃ、および２Ｃでの３ＤＧＦ－Ｓ９０のレート性能、ならびに１Ｃで５００サイクルにわたる３ＤＧＦ－Ｓ９０サイクリングを示す。
【図１８－３】図１８は、３ＤＧＦ－Ｓ９０の１回目、２０回目、および５０回目のサイクルの、例示的な充放電プロファイル、０．１Ｃでの３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、９０、および９５のサイクリング性能、０．２Ｃ、０．５Ｃ、１Ｃ、および２Ｃでの３ＤＧＦ－Ｓ９０のレート性能、ならびに１Ｃで５００サイクルにわたる３ＤＧＦ－Ｓ９０サイクリングを示す。
【発明を実施するための形態】
【０１６３】
詳細な説明
本明細書では、グラフェン材料、製作プロセス、および性能が改善されたデバイスを提供する。一部の実施形態では、本開示は、グラフェン材料を含むスーパーキャパシタ（ＳＣ）と、その製作プロセスとを提供する。そのようなＳＣは、現行のエネルギー貯蔵技術の欠点を回避する。本開示のＳＣは、１つまたは複数のスーパーキャパシタセルを含んでいてもよい。ＳＣは、正極および負極を含んでいてもよい。ＳＣの正極および負極は、セパレータによって切り離されていてもよい。セパレータは、電解質を含んでいてもよい。正極は、放電中のカソードであってもよい。負極は、放電中のアノードであってもよい。一部の実施形態では、複数のスーパーキャパシタセルはパックに配置（例えば、相互接続）されていてもよい。
【０１６４】
本明細書に記述される開示の様々な態様は、以下に述べる特定の適用例のいずれかに、または製造、合成、もしくは加工設定の任意の他のタイプで適用されてもよい。材料の他の製造、合成、または加工は、本明細書に記述される特色から等しく利益を得てもよい。例えば、本明細書の方法、デバイス、およびシステムは、様々な形のグラフェンまたは酸化グラフェンの製造（または合成）に、有利に適用されてもよい。本明細書に記述される実施形態は、独立型の方法、デバイス、もしくはシステムとして、またはシステムを加工する一体化された製造もしくは材料（例えば、化学物質）の一部として適用されてもよい。本開示の種々の態様は、個々に、まとめて、または互いに組み合わせて認識され得ることを、理解されたい。
【０１６５】
本開示の態様は、２つまたはそれよりも多くの電極であって各電極が３次元多孔質フレームワークから構成される電極と、電極間に配置された電解質とを含む、スーパーキャパシタデバイスを提供する。
【０１６６】
本開示の態様は、活物質を含む電極であって、活物質が３次元グラフェンフレームワーク（３ＤＧＦ）または穴のある３次元グラフェンフレームワーク（Ｈ３ＤＧＦ）を含む、電極を提供する。本開示の別の態様は、容量性または擬似容量性複合材料を含む複合電極を提供する。
【０１６７】
次に、図を参照する。図およびその中の特色は、必ずしも正しい縮尺で描かれていないことが理解されよう。本明細書で言及される概略的な図示、画像、式、チャート、およびグラフは、本明細書に記述される例示的な方法により生成されたデバイスの外観、特徴、および機能性の代表例としての役割をする、製作された例示的なデバイスを表す。
用語および定義
【０１６８】
他に定義されない限り、本明細書で使用される全ての技術用語は、当業者に一般に理解されるものと同じ意味を有する。本明細書および添付される特許請求の範囲で使用される

、単数形「１つの（ａ）」、「１つの（ａｎ）」、および「その（ｔｈｅ）」は、文脈が他に明示しない限り複数形を含む。本明細書における「または」という任意の言及は、他に記述しない限り「および／または」を包含するものとする。

【０１６９】

本明細書で使用されるように、他に定義しない限り、「約」という用語は、指定された値のプラスおよび／またはマイナス１０％以内の値の範囲を指す。

【０１７０】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ＧＯという用語は、酸化グラフェンを指す。

【０１７１】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ＲＧＯという用語は、還元された酸化グラフェンを指す。

【０１７２】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、３Ｄという用語は、３次元を指す。

【０１７３】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、３ＤＧＦまたは３ＤＧという用語は、３次元グラフェンフレームワークを指す。

【０１７４】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、Ｈ３ＤＧＦという用語は、穴のある３次元グラフェンフレームワークを指す。

【０１７５】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ＳＥＭという用語は、走査型電子顕微鏡を指す。

【０１７６】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ＴＥＭという用語は、透過型電子顕微鏡を指す。

【０１７７】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ＸＲＤは、Ｘ線粉末回折を指す。

【０１７８】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、Ｃレートは、エネルギー貯蔵デバイスが、その最大容量に対して充放電する速度の尺度である。

【０１７９】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、活性化は、後続の反応のために試料が調製されまたは励起されるプロセスを指す。

【０１８０】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、リチウム化は、リチウムまたは有機リチウム化合物との反応を指す。

【０１８１】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、前駆体は、別の化合物を生成する化学反応に関与する化合物である。

【０１８２】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、クーロン効率（ファラデー効率、ファラデー収率、クーロン効率、または電流効率とも呼ぶ）は、電荷（電子）がシステム内を移動して電気化学反応を容易にする効率について記述する。

【０１８３】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、比電極（ｅｌｅｃｔｏｒｄｅ－ｓｐｅｃｉｆｉｃ）は、電極の重量または体積により正規化された測定値を指す。

【０１８４】

本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、比硫黄（ｓｕｌｆｕｒ－ｓｐｅｃｉｆｉｃ）は、硫黄の重量または体積により正規化された測定値を指す。

【０１８５】
本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ナノ細孔は、直径が約１ｎｍから約１，０００ｎｍである細孔を指す。
【０１８６】
本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ミクロ細孔は、直径が約１μｍから約１，０００μｍである細孔を指す。
【０１８７】
本明細書で使用されるように、他に指定しない限り、ｍＦはミリファラッドを指す。
【０１８８】
好ましい実施形態について本明細書に示し記述しているが、そのような実施形態は単なる例として提供されることが当業者には明らかである。次に数多くの変形例、変更例、および置換例を、当業者なら思い浮かべ得る。本明細書に記述される実施形態の様々な代替例を用いてもよいことを理解すべきである。
電気エネルギー貯蔵デバイス
【０１８９】
図１Ａ～Ｃを参照すると、バッテリおよびＳＣは２つの相補的なエネルギー貯蔵技術を代表し、バッテリは高いエネルギー密度および低い電力密度を提供し得る一方、ＳＣは優れた電力密度および低いエネルギー密度を提供し得る。理想的なエネルギー貯蔵デバイスは、高いエネルギー密度と高い電力密度の両方を送出することが可能であり得る。極めて高い電力密度を超えると、ＳＣは、それらの長いサイクル寿命および低い維持コストにより魅力であり得る。
【０１９０】
電気エネルギー貯蔵デバイス（ＥＥＳＤ）は、モバイルエレクトロニクス、ハイブリッド電気自動車、再生可能エネルギーハーベスティング、およびエネルギー変換における適用例で、重要性が増しつつあるものである。リチウムイオンバッテリは現在、エネルギー貯蔵技術の主要な源を代表するが、リチウムイオンバッテリの容量は、$LiCoO_2$（約２７２ｍＡｈ／ｇ）および$LiFePO_4$（約１７０ｍＡｈ／ｇ）などのカソード材料の理論容量によって大きく制約を受ける可能性があり、エネルギー貯蔵に対して増えつつある消費者の需要を満たすことができなくなる可能性がある。
【０１９１】
市販のＳＣは、そのエネルギー密度が市販のリチウムイオン（Ｌｉイオン）バッテリの場合よりも典型的には１～２桁低いので、広く様々な採用に適合することができない。このような背景により、本開示に記述される実施形態を開発するニーズが生じた。
【０１９２】
ＳＣは、通常のキャパシタよりも非常に高いキャパシタンスを有し、百倍から千倍も速く再充電できる、ＥＥＳＤを含んでいてもよい。いくつかのスーパーキャパシタは、１０ｋＷ／ｋｇを上回る電力密度を含有していてもよく；これは現行のリチウムイオンバッテリよりも１０倍大きい。充放電速度が化学反応により制限され得るバッテリとは異なって、スーパーキャパシタは、高度に可逆的なイオン吸収および／またはレドックス反応を通して電荷を貯蔵し、これにより速いエネルギーの捕捉および送出が可能になり得る。
【０１９３】
スーパーキャパシタは、高い電力密度および優れた低温性能を示すことができ、したがって、ポータブル電子デバイス、医療デバイス、バックアップ電力デバイス、フラッシュカメラ、工場、回生制動システム、およびハイブリッド電気自動車などの適用例で、エネルギー貯蔵資源として益々用いられつつある。高い電力密度は、新興スマート電力グリッドの負荷平準化、フラッシュ充電エレクトロニクス、および電気自動車の急加速など、特に大量のエネルギーが限られた時間で貯蔵されまたは放出される状態に関し、益々関心を集め続ける可能性がある。
【０１９４】
ＳＣは、電気自動車（ＥＶ）、ハイブリッドＥＶ（ＨＥＶ）、およびプラグインハイブ

リッドＥＶ（ＰＨＥＶ）に理想的なエネルギー貯蔵技術になり得る。いくつかの現行のスーパーキャパシタは、エネルギー密度において有意な利益を示してきたが、これらのデバイスは、経時的な電力および／またはサイクリング容量の損失を示し得る。さらに、今日のバッテリベースのＥＶの著しい欠点は、それらのバッテリパックが完全に再充電されるのに約１時間またはそれよりも長い時間を必要とし、ガスタンクを満たすのに必要な時間（約５分）および路上での再充電に許容される期間を超えることであり得る。したがってＳＣの創出は、大幅に電力密度を増大させ、再充電時間を短縮することができ、そのためＥＶの有用性が増す。さらに、非常に高い電力密度を有するＳＣは、制動エネルギーリハーベストまたは急加速中のピーク電力を効率的に吸収することもできる。そのようなＳＣは、伝統的なバッテリと組み合わせることにより、伝統的なバッテリに対する高電力ストレスを大幅に低減させることができ、したがってそれらの寿命、堅牢性、および安全性を増大させる。したがって、エネルギー密度を有するＳＣの創出は、ＥＶに関して理想的なエネルギー貯蔵の解決策を提供することができる。

【０１９５】

一部の実施形態では、スーパーキャパシタ（ＳＣ）または電気化学キャパシタは、典型的には２つまたはそれよりも多くの電極から構成されるエネルギー貯蔵デバイスであり、各電極はイオン透過膜（セパレータ）によって分離されており、電解質はイオンによって電極を接続し、したがって電解質中のイオンは、電極が印加電圧により分極したときに、電極の極性とは反対の二重電気極性層を形成する。電子がセル内の活物質から離れ、かつ酸化が生じる電気化学セルの電極は、アノードと呼んでもよい。電子がセル内の活物質に進入し還元を引き起こす電気化学セルの電極は、カソードと呼んでもよい。各電極は、セルを通る電流の方向に応じてアノードまたはカソードのいずれかになってもよい。

【０１９６】

電極材料は、スーパーキャパシタのエネルギー貯蔵性能に、強力に影響を及ぼし得る。ＳＣにおけるエネルギー貯蔵は表面電荷吸収に依拠するので、高性能ＳＣ電極は、高いイオン到達可能表面積、高い電気伝導度、高いイオン輸送率、および高い電気化学安定性を必要とし得る。

【０１９７】

一部の実施形態では、ＳＣ電極は、活物質および集電体基板を含む。活物質の質量パーセンテージは、典型的にはデバイス全体の約３５～４０％である。活物質は、典型的には多孔質であり、したがって脆く、不十分な導体であるので、集電体は、支持構造、およびスーパーキャパシタの抵抗を低下させる導電経路として用いられ得る。一部の実施形態では、ＳＣは、高い静電容量を示す１つの電極と、高い電気化学キャパシタンスを示す別の電極とを含む、ハイブリッドＳＣである。

【０１９８】

一部の実施形態では、集電体は、カーボンクロスシリコン、金属酸化物、ヒ化ガリウム、ガラス、鋼、ステンレス鋼、またはこれらの任意の組合せから構成される。一部の実施形態では、ＳＣ集電体は、応力下で撓み、曲がるように設計される。今日入手可能な現況技術のＳＣは、多孔質活性炭電極を使用して構築され得る。

【０１９９】

アノードは、ハイブリッドＳＣ充電中に典型的にはリチウム化を受けるので、より低いアノードリチウム化電圧が、より大きいデバイス電圧窓を提供することができ、したがってより高いＳＣエネルギー密度を提供し得る。したがってＳＣのアノードのサイクリング安定性は、しばしば、ＳＣデバイスのサイクリング寿命の制限要因となり得る。したがって、ハイブリッドＳＣシステムにおける理想的なアノードは、デバイスが電解質の電圧窓を完全に利用し、高いエネルギー密度を提供するように、低い作用電圧を示し得る。さらに、アノードは、高い電力密度を実現するために、高い比容量およびエネルギー密度を有するべきであり、高電力カソードに匹敵する優れたレート能力を保有すべきである。最後に、アノードは、ハイブリッドシステムのサイクリング安定性が改善されるように、長いサイクリング寿命を示すべきである。理想的なカソードは、高い作用電圧、高い比容量、

および良好なレート能力を有するべきである。

【０２００】

グラフェン材料は、正極（放電中のカソード）、負極（放電中のアノード）、またはその両方で提供されてもよい。グラフェンは、その単原子の厚さ、高い理論的比表面積（約２，６３０m^2／ｇ）、高い理論的重量キャパシタンス（約５５０Ｆ／ｇ）、高い固有電気伝導度、優れた機械的可撓性、および例外的な電気化学安定性により、ＳＣ電極の理想的な材料となることができる。しかし、グラフェンシート間の強力なπ－π相互作用に起因して、グラフェンフレークは、再スタックされて黒鉛様粉末を、またはそれらがバルク電極に加工されるときには膜を形成する傾向があり得る。この再スタッキングは、到達可能な表面積およびイオン拡散速度をひどく低減させる可能性があり、したがって電極の重量キャパシタンスおよび充電／放電速度が損なわれる。

【０２０１】

しかし、活性化方法は、超小型ミクロ細孔および超高比表面積を有する活性化グラフェンを調製するのに用いられてもよい。しかし、そのようなミクロ多孔質表面は、電解質イオンアクセスの低下した効率に起因して、電極の重量キャパシタンスを制限し得る。レーザースクライビング法は、到達可能表面積を増大させかつ重量キャパシタンスを上昇させる多孔質構造の形成を通して、オンチップミクロスーパーキャパシタに関するこれらの難題を緩和するのに用いることができるが、このレーザースクライビング手法の固有の規模は、輸送および再生可能エネルギー貯蔵のような適用例でより大きいエネルギーデバイスを形成するのに不十分である可能性がある。

【０２０２】

図１によれば、本開示の実施形態は、鉛酸およびＬｉイオンバッテリに匹敵するエネルギー密度を有するが１０～１００倍高い電力密度を保持する、ＳＣを対象とする。電気自動車（ＥＶ）、ハイブリッド電気自動車（ＨＥＶ）、およびプラグインハイブリッド電気自動車（ＰＨＥＶ）の適用例に関してＵＳＡＢＣ／Ｆｒｅｅｄｏｍ ＣＡＲにより定義されるベンチマーク性能標的と比較すると、本開示の実施形態は、高いエネルギー密度を保持しながら非常に高い電力密度を実現し、これはそのような適用例が標的とする目標に特に望まれることである。したがって本開示の実施形態は、ＥＶまたは電気飛行機のような製品において、エネルギー貯蔵技術の状況を転換するＳＣを提供する。

【０２０３】

伝統的なデバイスの場合、エネルギー密度は、電力密度を増大させるとともに著しく低下することが、典型的には示されてきた。現行のハイブリッドＳＣは、高いエネルギーおよび高い電力密度ならびに長いサイクリング寿命を示し得るが、それらの能力は、低い固有電気伝導度、リチウム化／脱リチウム化プロセス中の大きい体積変化、不安定な固体電解質インターフェース（ＳＥＩ）、したがって不十分なサイクリング安定性およびレート能力を示し得る現行のアノードによって制限され得る。

【０２０４】

電極内のボイドシェル構造は、充放電中の体積変化を収容し、不安定な固体電解質界面（ＳＥＩ）の形成を防止することにより、これらの欠陥を治癒させることができる。しかし、ヨークシェル構造を合成するための現況技術の鋳型支援式手順は、多重ステップで、時間を消費し、高価であり、縮尺を合わせるのが難しく、かつ有毒な化学物質を必要とする。しかし、化学的に還元された穴のある３次元グラフェンフレームワーク（３ＤＧＦ）または穴のある３次元グラフェンフレームワーク（Ｈ３ＤＧＦ）は、これらの難題を克服するための有効な解決策を提供し、大規模な高性能ＳＣ電極の生成が可能になる。

【０２０５】

したがって、ＳＣは、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦベースのＳＣ電極の生成および能力を、最適化し、規模を拡大縮小することによって、設計された。３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦは、高エネルギー密度ハイブリッド擬似キャパシタ（ＰＣ）用の複合電極を創出する足場として用いた。全電力密度セルを、今日のＬｉイオンバッテリに近いまたはそれをも超えるエネルギー密度で生成した。

【０２０６】
本開示は、ＳＣデバイスの開発を対象とする。本明細書に開示される破壊的エネルギー貯蔵技術は、商用規模で展開可能であり、先進ＥＥＳＤ技術の開発および展開をもたらす。本明細書に記述されるＳＣは、例えば、ポータブルエレクトロニクス（例えば、携帯電話、コンピュータ、カメラなど）、医療デバイス（例えば、ペースメーカー、除細動器、補聴器、疼痛管理デバイス、および薬物ポンプを含む、生命維持および寿命延長医療デバイス）、電気自動車（例えば、長寿命のＥＥＳＤは、電気自動車産業を改善するのに必要とされる）、宇宙（例えば、ＥＥＳＤは、ローバー、着陸船、宇宙服、および電子設備を含む宇宙システムに電力を供給するのに、宇宙で使用され得る）、軍事用ＥＥＳＤ（例えば、軍隊は、多数の電子部品および設備に電力を供給するのに特殊ＥＥＳＤを使用し；本明細書に記述されるＥＥＳＤの低減した質量／体積が非常に好ましい）、電気航空機（例えば、太陽電池またはＥＥＳＤから得られる電気により、内燃機関ではなく電気モータで運行される航空機）、グリッドスケールのエネルギー貯蔵（例えば、ＥＥＳＤは、生成（発電所から）が消費を超える時間中に電気エネルギーを貯蔵するのに使用されてもよく、貯蔵されたエネルギーは、消費が生成を超えたときに使用されてもよい）、再生可能エネルギー（例えば、太陽は夜に輝かず、風は常時吹くわけではないので、電力系統を用いない電力システムのＥＥＳＤは、日没後および風が吹かない時間中に使用される再生可能エネルギー源から過剰な電気を貯蔵し得る；高電力ＥＥＳＤは、現況技術のＥＥＳＤよりも高い効率で太陽電池からエネルギーを回収し得る）、電力ツール（例えば、本明細書に記述されるＥＥＳＤは、ドリル、スクリュードライバ、鋸、レンチ、およびグラインダなどの高速充電コードレス電力ツールを可能にし得る；現行のＥＥＳＤは、長い再充電時間を有する）、またはこれらの任意の組合せなどの、１つまたは複数の適用例または領域で、重要な役割を演じる。

<u>３Ｄグラフェンフレームワーク</u>

【０２０７】
図２Ａによれば、低充填密度材料から形成された、高度に多孔質の活性化３Ｄグラフェンフレームワーク（３ＤＧＦ）２０１ａを使用するが、その高いイオン拡散に起因して比表面積が大きく重量キャパシタンスが高い電極を提供し、そのような電極は、低充填密度を維持することができ、したがって低体積キャパシタンスが維持され得る。さらに、活性化３ＤＧＦ　２０１ａは豊富な空の空間を示すが、内部の電解質の大きな必要とされる体積は、デバイスの総質量を増加させ、したがってデバイスの総質量により正規化されて全エネルギー密度が低減され得る。したがって、ＳＣ電極は、優れたレート能力を保持しながら、高い重量および高い体積キャパシタンスを同時に実現するように設計されるべきである。あるいは、図２Ｂによる、圧密化された活性化３ＤＧＦ　２０１ｂは、増大した体積キャパシタンスならびに低下したイオン到達可能表面積およびイオン拡散速度を示し、したがって、より低い重量キャパシタンスおよび不十分なレート性能を示す。例えば、レーザースクライビングされた多孔質グラフェン電極は、約０．０５ｇ／ｃｍ^{3}のかなり低い充填密度を示す可能性があり、結果的に高い重量性能および低い体積キャパシタンスを示す可能性がある。しかし、減圧濾過および毛管圧縮を通して３ＤＧＦを圧密化すると、適度な重量キャパシタンス（約１６７Ｆ／ｇ）を維持しながら、体積キャパシタンスが大幅に改善する（＜約２００Ｆ／ｃｍ^3）。

【０２０８】
穴のある３Ｄグラフェンフレームワーク（Ｈ３ＤＧＦ）２０２ａ、３ＤＧＦの形は、理想的なＳＣ電極材料を表す。Ｈ３ＤＧＦ　２０２ａは、穴のあるグラフェンシートを、多孔質構造を有する３Ｄ網状構造にコンジュゲートさせることによって、得ることができる。図２Ｂによる、圧縮されたＨ３ＤＧＦの２０２ｂグラフェンシートの高度に相互接続された、噛み合う３Ｄ網状構造は、再スタッキングを防止し、いかなる結合剤添加剤もない電極として直接使用することができる高い比表面積を有する高度に多孔質のモノリシック構造として働く。Ｈ３ＤＧＦ　２０２ａ　２０２ｂにおけるナノ細孔は、その比表面積をさらに増大させる。

【０２０９】
超小型ミクロ細孔に電解質イオンが到達しにくい場合がある活性化３ＤＧＦ　２０１ａとは異なって、圧縮されていないＨ３ＤＧＦ　２０２ａまたは圧縮されたＨ３ＤＧＦ　２０２ｂは、開放チャネルの連続網状構造を形成する、十分大きく十分一体化された細孔の階層を示すが、その表面積全体は、内部を通る効率的なイオン輸送のために、電解質により完全に濡れており、電解質イオンに接触可能であってもよい。一部の例では、その噛み合ったグラフェンシートを有する圧縮されたＨ３ＤＧＦ　２０２ｂは、機械的に圧密化されて、グラフェンシートの完全な再スタッキングのない自立型電極を形成し、その初期溶媒和状態を維持しながら高い充填密度が実現される。
【０２１０】
例示的な圧縮されていないＨ３ＤＧＦ　９０１および例示的な圧縮されたＨ３ＤＧＦ　９０２の側面図および断面図を、図９によって示す。活性化グラフェン膜とは異なって、Ｈ３ＤＧＦのナノ細孔は、グラフェン層の間のイオン拡散の近道として機能するのに十分大きく、したがって、フレームワーク全体を横断するイオン輸送が増大し、表面積全体へのイオン到達が容易になる。したがって、Ｈ３ＤＧＦは高い電気伝導度を示し、したがって、追加の導電性添加剤なしでＳＣ電極として直接使用することができる。
【０２１１】
現在利用可能なグラフェン電極の比表面積は、単層グラフェンの理論値（約２，６３０m^2／ｇ）の約４０～６０％である。高い表面およびイオン到達可能比表面積を有する、本明細書に記述されるＨ３ＤＧＦは、グラフェンシート内のナノ細孔のサイズおよび密度が増大するように、かつそのアセンブリおよび細孔階層が最適化されるように、グラフェンシートのサイズおよび厚さを調整することによって形成した。したがって、Ｈ３ＤＧＦの比キャパシタンスはその比表面積に比例するので、かつＨ３ＤＧＦの効率的な多孔率によって高いイオン拡散速度が可能になるので、Ｈ３ＤＧＦ電極は約１，２５０～２，０００Ｆ／ｇの比キャパシタンスを示す。
【０２１２】
一部の実施形態では、その電気化学活性表面積が高く、電子輸送速度が優れている、機械的に堅牢な３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦは、ＳＣ、擬似キャパシタ（ＰＣ）、または任意の他のＥＥＳＤのエネルギー密度をさらに増大させるため、ケイ素（Ｓｉ）、硫黄（Ｓ）、または遷移金属酸化物（ＴＭＯ）などの電気化学的に活性な容量性または擬似容量性材料を支持するように複合電極内で作用する、堅牢な導電性足場として機能することが可能である。そのような容量性または擬似容量性複合電極は、高い理論容量を示し、ケイ素およびＴＭＯなどのアノード複合材料ならびに硫黄などのカソード複合材料は、それぞれ低い、および高い電圧プラトーを示す。これを目的として、効率的な電子およびイオン輸送を同時に確実にするために、ナノ規模の電気化学活物質（例えば、ＴＭＯまたはＳｉ）が高度に均一な様式で３ＤＧＦもしくはＨ３ＤＧＦ足場上、またはその中にロードされるよう、本明細書に記述されるような信頼性ある手法を開発することが望ましい。
【０２１３】
本明細書に記述される、複合アノードおよび炭素質カソードを一体化するＳＣは、高いエネルギー密度および高い電力密度を示す。しかし、現行のハイブリッドスーパーキャパシタは、ファラデーリチウムインターカレーション反応を用いるＴＭＯアノードと、電解質イオンの物理吸着／脱着を通して電荷を貯蔵する標準的なカソードとの間の動的ミスマッチによって、損なわれる可能性がある。それに対し、ナノ構造化電極材料の高い表面積および効率的な負荷を示す、本明細書に記述される３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦは、グラフェン網状構造を通した高い電子伝導度と、超小型ＴＭＯ粒子内の急速イオン輸送とを、同時に確実にする。このように、本明細書に記述される３ＤＧＦ－ＴＭＯおよびＨ３ＤＧＦ－ＴＭＯ複合アノードは、２つの非対称電極の間の動的ギャップを緩和することによって、改善されたレート能力およびサイクリング安定性を示す。
【０２１４】
ＴＭＯベースのアノード材料は、比較的高い電圧プラトーを典型的には示し、それが動

作電圧窓を制限し、したがってハイブリッドセルのエネルギー密度を制限する。したがって、本明細書に記述されるような、Ｓｉなどのより低い電圧プラトーを有する最適なアノード材料を用いて、著しく高いエネルギー密度を有するＳＣを形成した。

【０２１５】

リチウム硫黄（Ｌｉ－Ｓ）バッテリは、次世代のＥＥＳＤ技術を代表する。約１，６７５ｍＡｈ／ｇの理論容量により、硫黄は、高いエネルギー密度の、長く継続する、安い電気エネルギー貯蔵デバイス（ＥＥＳＤ）にとって、魅力あるカソード複合材料を代表する。しかし、現行のＬｉ－Ｓバッテリは、硫黄の固有の特性に起因して、低い硫黄利用および不十分な長期サイクリング挙動を示す可能性がある。第１に、硫黄は電気絶縁性であり、不十分な電気伝導度を示し、充放電中に動的膨張を受けるので、その複合電極における使用は、重量が貯蔵能力に関与しない、したがって電極のエネルギー密度を低減させる、導電性添加剤（例えば、黒鉛）および結合剤をしばしば必要とする。第２に、硫黄カソードは、放電中のLi_2Sの形成後、大きい体積膨張（最大約８０％）を受ける可能性があり、同様に充電中に収縮し、その結果、複合電極の高い内部歪みおよび潜在的な崩壊をもたらす可能性がある。しかし、膨張および収縮によって引き起こされる容量フェージングは、電極の多孔率の増大を通して緩和され得る。最後に、充電／放電サイクル中、電解質に可溶であり、リチウムアノードに拡散し、その上に堆積する（即ち、多硫化物シャトリングプロセス）、長鎖多硫化リチウム（Li_2Sn、$4 \leqq n \leqq 8$）が形成されて、ＥＥＳＤ性能を劣化させ得る反応を発生させる。

【０２１６】

最大６０重量％の硫黄を一体化する先のＳＣ電極は、様々な欠点を示してきたが、３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦは、それらの高い多孔率、高い表面積、高い電気伝導度、および効率的なイオン輸送に起因して、Ｓナノ粒子の効率的な負荷に理想的な導電性足場となる。図５は、例示的なＨ３ＤＧＦ－Ｓ複合体５００の構造を概略的に示し、それに対して、高度に相互接続されたＨ３ＤＧＦシートにより形成された連続導電性網状構造は、硫黄の絶縁特性を克服することが可能な、効率的な高導電率電子輸送経路を形成する。さらに、個々のグラフェンシートはコンジュゲートし一緒に噛み合って、モノリシックな機械的に強力な３Ｄ網状構造を形成するので、結合剤は、充電／放電サイクル中にＳ電極で繰り返される膨張および収縮に耐えるのに必要とされない。さらに、本明細書に記述されるように、３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦの高度に多孔質の構造は、カソードの質量の最大約８０～９０％の高硫黄含量が形成されるように、活性硫黄の効率的な組込みを可能にする。最後に、グラフェンシートは硫黄粒子を包み込み、包封することができ、それによって多硫化物シャトリングプロセスが阻止され、優れたサイクリング性能を持つ堅牢な電極が提供される。

<u>３Ｄグラフェンフレームワークを形成する方法</u>

【０２１７】

３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦは、酸化グラフェン（ＧＯ）から生成され得る。したがって、高性能３ＤＧＦ－ＳＣおよびＨ３ＤＧＦ－ＳＣの商用規模の生成に対する主なハードルは、ＧＯ生成の、信頼性があり規模を拡大縮小できる方法の開発であり得る。ＧＯを生成する伝統的な方法は、修正されたＨｕｍｍｅｒ法であり、環境に有害な重金属、毒性ガス、爆発のリスク、長い反応時間、およびｐＨを中和するための退屈な透析プロセスが含まれる可能性があり、したがって広範な適用例に関して法外なコストがかかる可能性がある。ＧＯおよび還元ＧＯ（ｒＧＯ）の、現行の大規模な生成方法の品質（例えば、最大１，２００トン／年）は、高性能ＥＥＳＤでの使用に適切ではない場合があるので、規模を拡大縮小できるＧＯ生成のための、環境に優しく安全で高度に効率的な低コスト手法に対する、現在満たされていないニーズがある。一部の例では、K_2FeO_4など、主として使用される$KClO_3$および$KMnO_4$の代替の酸化剤を、それほど揮発性および毒性のない効率的な酸化剤として利用したが、それは室温で約１時間で、大規模にＧＯを生成した。さらに、ＧＯの代替の商用供給源について評価し用いてもよい。

【０２１８】

３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦベースのＥＥＳＤの性能は、その表面積（層の数）およびその導電率（酸化／還元の程度）に高度に依存する。単層および最小数の酸素基の優位性を示すＧＯおよびｒＧＯは、最高容量および導電率をそれぞれ示す。したがって、酸化の程度は、得られるｒＧＯの欠陥部位の数およびＨＧＦの導電率に直接相関する。完全な酸素基の除去、およびｒＧＯでのπ－π共役の完全回復は、製作方法を調整し最適化することにより実現した。

【０２１９】

一部の例では、ＧＯ懸濁液は、天然のフレーク黒鉛を使用してＨｕｍｍｅｒ法により合成し、懸濁液中のＧＯの濃度は約２．３ｇ／Ｌであり、ＧＯ懸濁液は、約９５℃の温度で約２４時間の期間乾燥させる。

【０２２０】

図６によれば、例示的なＨ３ＤＧＦは、水性分散体中での酸化グラフェン（ＧＯ）６０１または穴のあるＧＯ（ＨＧＯ）６０２の、同時還元および接合を通して調製され、例示的な巨視的な穴のあるグラフェンヒドロゲル（ＨＧＨ）６０３または溶媒和Ｈ３ＤＧＦが形成された。ＨＧＨ　６０３の巨視的サイズは、ＧＯ　６０１の濃度を制御することによって調整し、例えば、ＧＯ　６０１の濃度がより低い水性分散体は、より高い濃度の分散体を有する水性分散体から生成されたものよりも大きいミクロ細孔を有する、かなり大きいＨＧＨ　６０３を生成した。このように、本明細書に記述されるＨＧＨ　６０３の巨視的サイズならびにミクロ細孔サイズを調整して、得られるＨ３ＤＧＦの表面積を最大限にし、それと共に、電極として結合剤を含まない使用のためにヒドロゲルの機械的堅牢性を維持した。

【０２２１】

さらに、グラフェンシートの基底面におけるナノ細孔のサイズを、酸素、オゾン、過酸化水素、二酸化フルオライト、過酸化リチウム、過酸化バリウム、フッ素、塩素、硝酸、硝酸塩化合物、硫酸、ペルオキシ二硫酸、ペルオキシ一硫酸、亜塩素酸塩、塩素酸塩、過塩素酸塩、ハロゲン化合物次亜塩素酸塩、次亜ハロゲン酸塩化合物、家庭用漂白剤、６価クロム化合物、クロム酸、二クロム酸、三酸化クロム、クロロクロム酸ピリジニウム、クロム酸化合物、二クロム酸化合物、過マンガン酸化合物、過マンガン酸カリウム、過ホウ酸ナトリウム、亜酸化窒素、硝酸カリウム、ビスマス酸ナトリウム、またはこれらの任意の組合せを含む、様々な濃度の酸化剤に対するＧＯの曝露期間を制御することによって調整した。したがって、ＧＯが酸化剤に、長く曝露されるほど、または酸化剤の濃度が高くなるほど、グラフェンシート内に形成されるナノ細孔は、より大きくなる。したがって、本明細書に記述されるように、イオン拡散速度は、ナノ細孔のサイズおよび密度を最大限にすることによって最適化した。さらに、ナノ細孔が還元前にＧＯ上に形成される３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦは、ナノ細孔が還元後にＧＯ上に形成される３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦよりも低い堅牢性を示した。

【０２２２】

本明細書に記述される、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦベースの電極の電気化学性能は、グラフェンシートの配置構成／トポロジーを修正することによってさらに最適化された。例えば、垂直に並んだグラフェンシートは、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦのレート能力および比キャパシタンスを改善する急速輸送経路を提供する。グラフェン網状構造の順序は、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦが形成されるよう接合する前に、適正な液晶相（例えば、ネマチック）内へのＧＯの配置構成を制御することによって調整した。一部の例では、電場、流体圧力、流体渦、磁場、または機械的変形などの外力も用いて、ＧＯ液晶の巨視的アライメント、および３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦにおけるグラフェンシートの組織化を調整した。

【０２２３】

一部の例では、ＨＧＯは、ＧＯと、酸素、オゾン、過酸化水素、二酸化フルオライト、過酸化リチウム、過酸化バリウム、フッ素、塩素、硝酸、硝酸塩化合物、硫酸、ペルオキシ二硫酸、ペルオキシ一硫酸、亜塩素酸塩、塩素酸塩、過塩素酸塩、ハロゲン化合物次亜塩素酸塩、次亜ハロゲン酸塩化合物、家庭用漂白剤、６価クロム化合物、クロム酸、二ク

ロム酸、三酸化クロム、クロロクロム酸ピリジニウム、クロム酸化合物、二クロム酸化合物、過マンガン酸化合物、過マンガン酸カリウム、過ホウ酸ナトリウム、亜酸化窒素、硝酸カリウム、ビスマス酸ナトリウム、またはこれらの任意の組合せを含む酸化剤との均質な水性混合物を、１００℃で加熱することによって形成されてもよい。一部の例では、残留酸化剤をその後、遠心分離または任意の他の分離法によって、および反応混合物を洗浄することによって、除去する。一部の例では、ＨＧＯをその後、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、またはこれらの任意の組合せを含む溶媒に再分散させて、高濃度の安定な水性分散体を形成する。次いでＨＧＯは、ギ酸、アスコルビン酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、またはこれらの任意の組合せを含む弱酸を分散体に導入することによって、化学的に還元し接合させて３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦを形成してもよい。本明細書に記述される、得られる３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦの側方サイズおよび厚さは、異なるサイズの反応槽を用いることによって、およびＨＧＯの体積を調節することによって調整した。

３ＤＧＦ電極を形成する方法

【０２２４】

現在、高性能グラフェンフレームワークベースのＳＣ電極は、オートクレーブ内での同時還元および接合ＧＯを含むバッチプロセスでしばしば形成されるが、これは生成処理能力を制限する可能性がある。一部の実施形態では、より効率的なロールツーロール電極印刷プロセスは、連続ＧＯ還元および接合法と、後続の、ある特定の化学配合および粘度のＧＯインク、ＧＯ－Ｓｉインク、ＧＯ－Ｓインク、またはＧＯ－ＴＭＯインクの配合を含む。一部の実施形態では、図３による連続ロールツーロール印刷／コーティングプロセス３００は、適正な溶媒中でＧＯまたはＨＧＯ前駆体を合成し分散させて、ＧＯまたはＨＧＯインク３０２を創出すること、集電体３０１をＧＯまたはＨＧＯインク３０２で、制御された温度でかつ適正な化学環境内でコーティングすること、およびその後、化学物質、熱、自発的自己アセンブリ、またはレーザー処理を通して、周囲条件下で、集電体上で活物質を還元し接合することを含む。そのようなプロセスは、安く、一貫して、かつ効率的に、３ＤＧＦ、３ＤＧＦ－Ｓｉ、または３ＤＧＦ－Ｓ、３ＤＧＦ－ＴＭＯ、Ｈ３ＤＧＦ、Ｈ３ＤＧＦ－Ｓｉ、Ｈ３ＤＧＦ－Ｓ、およびＨ３ＤＧＦ－ＴＭＯ　ＳＣ電極を形成する。

【０２２５】

高性能３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦ－ＳＣの商用規模の生成に対する追加の障壁は、図８による、コイン８０１とパウチセル８０２との間のサイズの差から生ずる。典型的な市販のコインセル８０１の直径は１０ｍｍ程度であり、それに対して典型的な市販のパウチセル８０２は、通常、側方サイズが少なくとも約１００～２００ｍｍである。現行のグラフェン製造方法は、典型的には、ＧＯの同時還元および接合のために昇温状態を必要とするので、両方のＳＣセルの規模での３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦ電極のサイズおよび形状の制御は難しい場合がある。したがって、本明細書に記述される３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦ電極製造方法は、大きい、好ましくは自立型のグラフェン電極と集電体との間の完全な接触が確実になるように、微細に調整した。大型パウチセルの実証によれば、Ｈ３ＤＧＦを、多くの異なるタイプの商業的に関連あるデバイスに適応させることができる。

【０２２６】

一部の例では、自立型３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦを、鋼、ステンレスニッケル、アルミニウム、銅、ビスマス、クロム、コバルト、ガリウム、金、鉄、インジウム、鉛、マグネシウム、水銀、銀、ナトリウム、スズ、チタン、亜鉛、ジルコニウム、青銅、またはこれらの任意の組合せを含む、金属フォームの集電体上に押圧した。一部の実施形態では、フォーム集電体は、２次元金属箔集電体よりも大きい３ＤＧＦ／集電体接触面積を形成する。一部の例では、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦを、制御された条件下で（化学的還元、熱および／またはレーザー還元など）金属フォームの集電体上に直接堆積または印刷し、最適な結合／接触のために集電体上でのＧＯの直接還元と３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦの自己アセンブリとが可能になった。金属フォームは一般に、金属箔よりもコストがかかるので、本明細書に記述されるＨＧＯも、金属箔集電体上に直接堆積または印刷した。一部の例で

は、これらの方法によって形成された電極は、一貫したＳＣの大規模な製造が可能になるように、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦと集電体との間で増大した接触表面積を示す。

【０２２７】

３ＤＧＦ－Ｓｉ電極を形成する方法

【０２２８】

一部の実施形態では、十分な空の空間を有する３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦケイ素複合体は、体積変化を緩衝する堅牢な導電性網状構造を提供し、ＳＥＩの形成を安定化させて、容量劣化を緩和し、過剰な電解質消耗を低減させ、レート性能を改善する。

【０２２９】

一部の実施形態では、高性能３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦ－Ｓｉ複合電極を構成するための方法は、電極材料の凝集を防止し、グラフェン上でのナノ規模のケイ素の均一な装飾を確実にし、緩衝空間を制御し、ＳＥＩ層を安定化するように設計した。多数の官能基を有するＧＯおよびｒＧＯの両親媒性は、ナノ規模のケイ素粒子を有する３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦのアセンブリのための様々な潜在的な戦略を提供する。一部の例では、ケイ素ナノ粒子を、グラフェンシート上にまたは３ＤＧＦ網状構造内に、単一または二重ステップ自己アセンブリ手法を通しロードし、高い負荷率を確実にする。本明細書に記述される、３ＤＧＦ－ＳｉまたはＨ３ＤＧＦ－Ｓｉアノードの長期サイクリング安定性および高速性能は、異なるポリマー界面活性剤／安定化剤、および化学修飾されたケイ素表面とＧＯ／ｒＧＯのカルボン酸官能基との間の共有結合的結合を使用して、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦ－Ｓｉにおけるケイ素ナノ構造とｒＧＯとの間のファンデルワールス力相互作用を研究することによって評価し、最適化した。より重要なのは、応力／歪みを緩和し、充電／放電サイクルでのケイ素の大きな膨張および収縮中にＳＥＩ層を安定化することであり、本明細書に記述される組み立てられたグラフェンの堅牢性は、３Ｄグラフェン網状構造の機械的特性を調整することによって調査した。単層グラフェンは、約１，１００ＧＰａという驚くべきヤング率を示すが、本明細書に記述される、組み立てられたグラフェンアーキテクチャの機械的特性は、サイクリング安定性およびクーロン効率に著しい影響を及ぼす、その厚さ、サイズ、アライメント、およびアニール条件などのグラフェンの特性を調整することによって最適化した。

３ＤＧＦ－Ｓ電極を形成する方法

【０２３０】

本明細書に記述される、高い硫黄負荷率を有する電極は、必要とされる不動態電極成分の質量を低減させて高い全体容量を可能にし、電極のコストを低減させる。しかし、あり余るＳ負荷は、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦの構造的不安定性を低減させ、電極の電気伝導度を損なう可能性がある。図４によれば、例示的なグラフェンシート４０１上のナノ細孔４０２は、より大きい多硫化物分子のシャトリングプロセスを遅延させながら、優れたＬｉイオン輸送が確実になるように、設計し、制御した。したがって、本明細書に記述されるように、硫黄は、硫黄の電気化学特性が完全に利用されるように、３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦの３Ｄ網状構造内に特定の負荷率で均一に負荷される。

【０２３１】

一部の例では、高性能３ＤＧＦ－ＳまたはＨ３ＤＧＦ－Ｓ複合電極を構成するための方法は、硫黄、酸、反応物、およびグラフェン材料、例えばＧＯまたはｒＧＯを混合して溶液を形成すること、および反応物を溶液中に導入することを含む。したがって、反応物は、グラフェン材料を還元し、還元されたグラフェン含有材料を、硫黄粒子を封入する３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦと接合させる。一部の例では、酸は、過塩素酸、ヨウ化水素酸、臭化水素酸、塩酸、硫酸、ｐ－トルエンスルホン酸、メタンスルホン酸、またはこれらの任意の組合せを含む強酸を含む。一部の例では、反応物は、ギ酸、アスコルビン酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、またはこれらの任意の組合せを含む弱酸を含む。一部の例では、硫黄供給源の濃度を調節して、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦ複合体内に封入された硫黄の量を制御してもよい。一部の例では、硫黄粒子は、約１０ｎｍから約１００μｍ、約１００ｎｍから約１０μｍ、または約５００ｎｍから約１０

μｍのサイズを有する。これらの場合のいくつかでは、追加の結合剤を用いない。一部の例では、追加の導電性添加剤を用いない。これらの場合のいくつかでは、追加の結合剤または導電性添加剤を用いない。

【０２３２】

一部の例では、電極の全重量に対する重量または質量パーセンテージで表される、電極の硫黄含量は、約６０％よりも多く、例えば約６５％もしくはそれよりも多く、約７０％もしくはそれよりも多く、約７５％もしくはそれよりも多く、約８０％もしくはそれよりも多く、約８５％もしくはそれよりも多く、または約９０％もしくはそれよりも多い。

【０２３３】

一部の例では、高容量硫黄カソード、例えば、非常に効率的な硫黄負荷を有する自立型３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦは、反応物がただ１つの反応器内で連続化学反応に供され得る効率的な化学反応を含むワンポット法を通して、グラフェンベースの材料から形成した。

【０２３４】

図７によれば、例示的な３ＤＧＦ－Ｓ複合電極は、下記の化学反応：

$Na_2S_2O_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + SO_2 + H_2O + S$

を開始するために、グラフェン含有材料／供給源（例えば、酸化グラフェン（ＧＯ）フレーク）の存在下、硫黄前駆体／供給源（例えば、$Na_2S_2O_3$）および酸（例えば、ＨＣｌ）混合することを含む、容易なワンポット合成によって調製した。

【０２３５】

したがって、ＧＯの還元を推進し、還元ＧＯから、封入された硫黄粒子を有する３Ｄグラフェンヒドロゲルに接合するための、アスコルビン酸の導入は、３ＤＧＦ－Ｓまたは３ＤＧＦ－Ｓ複合体を誘発させる。図７によれば、例示的なＧＯ溶液７０１は茶色がかった色を示し、一方、$Na_2S_2O_3$およびＨＣｌを含むＧＯの例示的な溶液７０２は、乳状の曇った懸濁液を示し、多数の硫黄粒子の存在が示される。アスコルビン酸の導入は、機械的に強力な自立型３ＤＧＦ－Ｓ複合ヒドロゲル７０３の形成を可能にする。反応溶液中に得られる３ＤＧＦ－Ｓ複合ヒドロゲルは、自立型構造および透明な上澄み溶液を示し、ＧＯおよび硫黄粒子の大部分が一緒に接合して、ごく僅かなＧＯまたは硫黄が溶液中に残された複合ヒドロゲルを形成することが示される。次いで例示的な３ＤＧＦ－Ｓ複合ヒドロゲルを、後で使用するために凍結乾燥した。したがって、約７０％、約８０％、約９０％、および約９５％の硫黄含量を有する３ＤＧＦ－Ｓ複合体（それぞれ、３ＤＧＦ－Ｓ７０、３ＤＧＦ－Ｓ８０、３ＤＧＦ－Ｓ９０、および３ＤＧＦ－Ｓ９５と示す）を調製した。

【０２３６】

本明細書に記述されるように、硫黄前駆体（例えば、$Na_2S_2O_3$）を低減すること、溶融拡散手法、ＣＶＤ手法、およびヒドロゲル上に硫黄ナノ粒子をドロップキャストすることを含む、様々な代替の硫黄負荷方法が調査され、評価された。硫黄およびグラフェンの量は、電極の負荷率、サイクル性、安定性、および全体構造の形状が調整されるように、調節した。本明細書に記述されるように、硫黄負荷率６０～９５％は、容易に達成された。

【０２３７】

一部の例では、例示的な３ＤＧＦ－Ｓ９０電極は、第１の溶液が形成されるように、濃度が約１Ｍである$Na_2S_2O_3$ 約０．１ｍＬを、約２．３ｇ／ＬのＧＯ懸濁液約０．２２ｍＬ、および脱イオン水約０．５８ｍＬと混合することによって形成した。次いで約２ＭのＨＣｌ約０．１ｍＬを、第１の溶液に滴下添加し、得られた溶液を、約２時間の期間撹拌していた。次いで約１Ｍのアスコルビン酸約２０μＬを、先の溶液に添加し、約２時間の期間、約９５℃の温度で加熱して、ヒドロゲルを形成し、次いでヒドロゲルを水で数回洗浄し、凍結乾燥した。$Na_2S_2O_3$およびＨＣｌの量は、同じ方法を使用して３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、９５、Ｈ３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、および９５が合成されるように調整した。

<u>３ＤＧＦ－ＴＭＯ電極を形成する方法</u>

【０２３８】

その高い表面積および導電率により、本明細書に記述される３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦは、ナノ規模のＴＭＯ負荷に関して効率的な足場を形成し、グラフェン網状構造を通した効率的な電子輸送と、非常に短い距離でのナノ規模のＴＭＯへの急速イオンインターカレーションとを、同時に確実にする。

【０２３９】

一部の例では、電極は、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦと、ＴＭＯの層を含む。一部の例では、ＴＭＯの薄層（例えば、約１０ｎｍ）をグラフェンシート上に均一に堆積して、高負荷率（約８０～９０％）、高抵抗性ＴＭＯ内での短い電子およびイオン輸送距離、ならびにグラフェン－ＴＭＯ界面を横断する効率的な電子輸送を確実にした。一部の例では、選択されたＴＭＯ（例えば、Ｔ－Ｎｂ$_2$Ｏ$_5$）を、その３Ｄ構造が形成される前、最中、または後に、ＴＭＯナノ結晶の直接核生成および成長を通して、またはゾルゲル浸潤手法を通して、グラフェンシート上にまたは３ＤＧＦもしくはＨ３ＤＧＦ内にロードした。一部の例では、前駆体の濃度または比、および接合条件を様々に変えることにより、本明細書に記述される複合電極の組成、結晶化度、モルホロジー、およびナノ／ミクロ構造を、体系的に調整して、電極の所望の電気化学特性を実現した。

【０２４０】

低動作電圧で水性電解質を用いるＳＣは、高いエネルギー密度を送出することができない場合がある。図１０によれば、ＴｉＯ$_2$およびＴ－Ｎｂ$_2$Ｏ$_5$などの一部のＴＭＯは、非水性電解質中で、固有のインターカレーション擬似キャパシタンスを示す。本明細書に記述される、アノードまたはカソードにおけるそのようなＴＭＯ電極材料と、有機電解質中での炭素質電極との組合せは、高いエネルギー密度と高い電力密度との両方を有するデバイスを提供する。しかし、ファラデーリチウムインターカレーション反応を使用したＴＭＯアノードと、電解質イオンの物理吸着／脱着を使用した炭素質カソードとの間の動的ミスマッチは、高性能ＴＭＯ複合ＳＣの生成に対する潜在的な障壁となり得る。このため、本明細書に記述されるように、高電力アノード材料は、前述の動力学的ギャップを緩和する。一部の実施形態では、より高い導電率および高い表面積を示す３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦを含むナノ構造化ＴＭＯ（例えば、Ｔ－Ｎｂ$_2$Ｏ$_5$）の一体化は、この点に関して理想的な解決策を提供する。

【０２４１】

Ｔ－Ｎｂ$_2$Ｏ$_5$は、２次元輸送経路をもたらし、インターカレーションにおける構造変化がほとんどなく、かつ固相拡散からの制限がない、擬似容量性メカニズムを示すので、ハイブリッドシステムにおける理想的な高速アノード複合材料である。しかし、Ｔ－Ｎｂ$_2$Ｏ$_5$は、約２００ｍＡｈ／ｇという比較的低い理論容量を有するので、本明細書に記述されるＦｅ$_3$Ｏ$_4$などのより高い理論容量を有する代替のＴＭＯを用いて、高容量３ＤＧＦ－ＴＭＯまたはＨ３ＤＧＦ－ＴＭＯ複合アノードを形成した。この場合、Ｆｅ$_3$Ｏ$_4$のレート能力は、本明細書に記述されるように、超微細Ｆｅ$_3$Ｏ$_4$ナノ粒子を導電性足場の上または内部にロードすることによって緩和することができる。

【０２４２】

一部の実施形態では、遷移金属酸化物は、Ｎｂ$_2$Ｏ$_5$、Ａｌ$_2$Ｏ$_3$、Ｖ$_2$Ｏ$_5$、Ｒｅ$_2$Ｏ$_7$、ＣｒＯ$_3$、ＣｅＯ$_2$、ＲｕＯ$_2$、ＺｒＯ$_2$、ＭｏＯ$_3$、ＷＯ$_3$、ＴｉＯ$_2$、またはこれらの任意の組合せを含む。

電極性能を測定する方法

【０２４３】

一部の例では、ＳＥＭ　ＪＥＯＬ　６７００を、走査型電子顕微鏡法に用いた。一部の例では、ＴＥＭ　Ｔ１２　Ｑｕｉｃｋ　ＣｒｙｏＥＭを透過型電子顕微鏡法に用いた。一部の例では、Ｃｕ　Ｋ－アルファ放射線によるＰａｎａｌｙｔｉｃａｌ　Ｘ’Ｐｅｒｔ　ＰｒｏＸ線粉末回折計を、Ｘ線回折（ＸＲＤ）に用いた。一部の例では、Ａｘｉｓ　ＵｌｔｒａＤＬＤを、Ｘ線光電子分光法に用いた。一部の例では、ＴＧＡは、ＰｅｒｋｉｎＥｌｍｅｒ　ｉｎｓｔｒｕｍｅｎｔｓ　Ｐｙｒｉｓ　Ｄｉａｍｏｎｄ　ＴＧ／ＤＴＡを使用して実施した。

【０２４４】
一部の例では、電極の電気化学特性は、酸素含量が０．１ｐｐｍよりも低く保たれている、水を含んだ、アルゴンで満たされたグローブボックス内で、電極をＣＲ２０２５コインセルに組み立てることによって測定した。一部の例では、厚さが約１００μｍの、機械的に押圧された３ＤＧＦ－Ｓ試料を、カソードとして直接使用し、それに対してリチウム箔をアノードとして使用した。一部の例では、電極を特徴付けるのに使用される電解質は、$LiNO_3$（約１重量％）を含有する約１：１ｖ／ｖの１，２－ジメトキシエタン（ＤＭＥ）および１，３－ジオキソラン（ＤＯＬ）中のリチウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミド（約１Ｍ）の溶液を含んだ。一部の例では、３ＤＧＦ－９０カソードは、約０．６３６cm^2（約９ｍｍの直径を有するディスク）の面積および約４．３２ｍｇ／cm^2の硫黄質量負荷を示した。一部の例では、定電流充電／放電サイクリングは、マルチチャネルバッテリ試験システム（ＬＡＮＤ　ＣＴ２００１Ａ）を用いて約１．６～２．６Ｖ対Li/Li^+の電位範囲で実施した。
【０２４５】
一部の例では、電極の電気化学特性は、いかなる添加剤もなしに、Ｌｉ－Ｓバッテリカソード内のカソードとして電極を用いることによって測定した。
【０２４６】
一部の例では、一部の実験で用いられる例示的な３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦ電極は、約１４０μｍの厚さ、および約１０ｍｇ／cm^2の質量負荷を有し、これは商用ＳＣのものに匹敵する。
【０２４７】
３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦベースの電極の電気化学特性を、水性および非水性の両方の電解質中で２つまたは３つの電極構成を使用して、対称および非対称ＳＣ内で調査した。フルセル試験を使用して、例示的なハイブリッドスーパーキャパシタ（例えば、Ｈ３ＤＧＦ－ＴＭＯ／Ｈ３ＤＧＦ）の全体のエネルギー密度を、非水性電解質（例えば、ＥＣ／ＤＭＣ混合物中の$LiPF_6$）中でまたはイオン性液体電解質（ＥＭＩＭBF_4／ＡＮ）中で評価した。
【０２４８】
定電流キャパシタンスは、ＳＣ電極を評価するための性能指数として伝統的に使用されてきたが、容積性能の測定は、ポータブル電子製品およびＥＶなどの限られた空間での電気エネルギー貯蔵の適用例に重要な測定基準である。しかし、多くの電極は、グラフェンの重量および体積キャパシタンスの間の二律背反を最適化するように、依然として設計されている。
【０２４９】
一部の実験手順は、比較的薄い電極（例えば、１００ｎｍ）の特徴からデバイス性能を誘導するが、その活性電極は、低活物質質量負荷を有する。しかし、そのような薄い電極デバイスの性能は、薄い電極の、低減した垂直イオン拡散距離に起因して、厚い電極の性能を予測するように常に推定できるわけではない。したがって、一部の例では、本開示における例示的なスタックエネルギー密度は、サイズおよび質量が商用デバイスに匹敵する実際のデバイスでの実験によって決定した。このことは、本明細書に開示されるデバイスの性能が、基本的に規模を拡大縮小可能であり得ることを実証し、実際の適用例および大規模な商業化に特に重要であり得る。
例示的な３Ｄグラフェンフレームワークの性能および特徴
【０２５０】
図１１は、高質量負荷の、例示的なＨ３ＤＧＦ－Ｓｉ複合体のＳＥＭ画像を示す。
【０２５１】
非Ｈ３ＤＧＦ　３Ｄグラフェンフレームワーク内のグラフェンに対する、前駆体を介した硫黄堆積の効果は、図１２Ａの例示的なＨ３ＤＧＦ－Ｓの断面ＳＥＭ画像によりわかり、図１２Ｂによれば１μｍの硫黄粒子が内部にある。
【０２５２】

さらに、図１３Ａは、３ＤＧＦに封入された硫黄粒子の例示的な低倍率ＴＥＭ画像を示し、グラフェンポケット内の溶融硫黄の運動を描いており、それに対して点線は、グラフェンポケットの壁を示す。図示されるように、例示的なＴＥＭの強力な電子ビーム照射は、銅グリッド上に漏出することなく３ＤＧＦ内で硫黄粒子を動的に流動させる。図示されるように、溶融硫黄は３ＤＧＦのグラフェン壁－１　１３０１を横断して流れたが、その後、３ＤＧＦのグラフェン壁－２　１３０２により停止した。したがって、これらの画像は、硫黄が３ＤＧＦのマルチレベルポケットおよび壁内に十分封入されて、液体硫黄の漏れを効率的に阻止または緩和することを確認する。さらに、放電プロセス中の電解質中での硫黄から可溶性多硫化物への固－液相変換は、観察された溶融プロセスに類似しているので、３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦによる硫黄の封入は、多硫化物シャトリング効果を遅延させるのに有効な手段である。

【０２５３】

図１４による、例示的な３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、９０、および９５複合体の断面図の走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）画像は、類似のミクロン規模の多孔質構造と、約１μｍの同等の硫黄粒子サイズを示す。例示的な３ＤＧＦ－Ｓ９５　ＳＥＭ画像は、全く異なる機械的に脆い構造を示し、硫黄粒子がグラフェンシートの大部分を覆っている。硫黄負荷を約９０％から約９５％まで増加させると、硫黄の質量がほぼ２倍になることに留意すべきである。

【０２５４】

一部の例では、負荷パーセントが約７０％の例示的なＨ３ＤＧＦ－Ｓカソードは、図１５によれば、約１，２５２ｍＡｈ／ｇの比硫黄容量を示す。

【０２５５】

図１６によれば、３ＤＧＦ－Ｓ複合体の還元プロセスおよび形成の前後での、例示的な３ＤＧＦ－Ｓ９０のＸ線回折（ＸＲＤ）の特徴付けは、約１１．６°で初期の広いＧＯピークを示し、これはアスコルビン酸により還元後に減少し、また約２２．２°でｒＧＯピークを示し、これはＧＯの首尾よくなされた還元を示している。例示的なＸＲＤスペクトルは、還元の前後で斜方晶相硫黄（ＪＣＰＤＳ　Ｎｏ．０８－０２４７）に関して十分画定された回折ピークを示し、首尾よくなされた硫黄の３ＤＧＦへの組込みが確認される。

【０２５６】

図１７による熱重量分析（ＴＧＡ）は、複合構造の硫黄負荷を決定する。例示的な３ＤＧＦ－Ｓ複合体のＴＧＡ研究は、温度が、硫黄昇華温度に該当する約２００℃よりも高くなると重量低減を示す。硫黄含量を決定するために、ＴＧＡを、硫黄を含まない例示的な純粋な３ＤＧＦに対して実行して、グラフェン自体からの重量の関与を明らかにした。重量損失較正後、例示的な試料の硫黄含量は、約７０％、約８０％、約９０％、および約９５％であることを決定した。メチレンブルー吸収試験は、硫黄を含むおよび含まない３ＤＧＦの表面積が高度に同等であり、炭素の量によって正規化したときにほぼ９００m^2／ｇであることを決定し、したがって、硫黄を含むことにより、３ＤＧＦの全体構造に著しい影響がないことが示された。

【０２５７】

図１８によれば、例示的な３ＤＧＦ－Ｓ電極の電気化学性能を、いかなる添加剤も含まない自立型複合カソードとして、凍結乾燥した３ＤＧＦ－Ｓを適用することを通して、さらに評価した。Ｌｉ－Ｓバッテリの容量は、硫黄の体積または質量によってしばしば正規化され、それに対して硫黄が少なくなるほど容量が高くなることが予測できるが、これらの例示的な測定は、結合剤または導電性添加剤の重量について説明していない。したがって、図１８Ａの例示的な測定値は、電極の全重量により正規化され、本明細書の開示の主な性能の改善を強調する。

【０２５８】

図１８Ａによれば、約１．６～２．６Ｖ（対Li^+／Ｌｉ）の電圧範囲の下、０．１Ｃでの例示的な３ＤＧＦ－Ｓ９０の定電流試験の充電／放電曲線は、約２．３２Ｖおよび約２．０８Ｖでプラトーを示し、これは長鎖多硫化物（Li_2S_x、$4 \leqq x \leqq 8$）および短

鎖多硫化物（Li_2S_2またはLi_2S）の形成を示している。その第１の使用サイクルにおいて、３ＤＧＦ－Ｓ９０は、約１，０７０ｍＡｈ／ｇの容量を示す。２０回目および５０回目の使用サイクルでの充電／放電曲線も、２つのプラトーを明らかに示し、良好な電気化学安定性を示している。図１８Ｂおよび図１８Ｃは、それぞれ硫黄重量によりおよび電極の重量により正規化された、０．１Ｃでの例示的な３ＤＧＦ－Ｓ試料のサイクリング能力を示す。図１８Ｃによれば、３ＤＧ－Ｓ９０カソードは、様々な電流レートで良好なサイクリング応答を示し、容量は、０．２Ｃで６５７ｍＡｈ／ｇまで回復することができる。

【表１】

	比硫黄容量(@ C レート=0.1)	
	0 サイクルで	50 サイクルで
3DGF-S70	1,286	846
3DGF-S80	1,200	777
3DGF-S90	1,077	746
3DGF-S95	628	673

表 1– 比硫黄容量の比較

【０２５９】

表１および図１８Ｂによれば、例示的な３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、９０、および９５電極に関する初期容量は、それぞれ約１，２８６ｍＡｈ／ｇ、約１，２００ｍＡｈ／ｇ、約１，０７７ｍＡｈ／ｇ、および約６２８ｍＡｈ／ｇである。予測されるように、グラフェンフレームワーク中のより少量の硫黄は、より多くの電子およびイオン輸送経路をもたらし、したがって硫黄の利益を効率的に用いるので、より低い硫黄負荷は、より高い比硫黄容量をもたらす。５０サイクル後、３ＤＧＦ－Ｓ７０、８０、および９０電極の容量は、それぞれ約８４６ｍＡｈ／ｇ、約７７７ｍＡｈ／ｇ、および約７４６ｍＡｈ／ｇまで低下する。５０サイクル後の、約６７３ｍＡｈ／ｇまでの３ＤＧＦ－Ｓ９５の比容量の漸進的増加は、フレームワーク内の硫黄によって引き起こされた過剰な絶縁に起因し得るが、これにより、深く埋め込まれた硫黄を徐々に利用するために長い活性化プロセスが求められる。

【０２６０】

図１８Ｄは、電極全体の質量によって正規化された例示的な３ＤＧＦ－Ｓ９０電極のレート性能を示し、それに対して０．２、０．５、１．０、および２ＣのＣレートでの初期容量は、それぞれ約７７２ｍＡｈ／ｇ、約６１５ｍＡｈ／ｇ、約５００ｍＡｈ／ｇ、および約３８１ｍＡｈ／ｇである。したがって、約１．０のＣレートでの３ＤＧＦ－Ｓ９０の高い固有容量は、そのレートで、従来のリチウムイオンバッテリよりも、１桁よりも大きい電力密度を送出する。Ｃレートは典型的には硫黄の重量のみによって正規化されるが、本明細書で報告される電力密度は、電極の全質量によって正規化されていることに留意することが重要である。３ＤＧＦ－Ｓ９０カソードは、様々な電流レートで良好なサイクリング応答を示し、容量は、０．２Ｃで約６５７ｍＡｈ／ｇまで回復することができる。図１８Ｄは、１Ｃでの３ＤＧＦ－Ｓ９０カソードの長寿命性能を示す。電極全体の質量により正規化された初期比放電容量は、約４４１ｍＡｈ／ｇであり、これは、活性化プロセスに起因して３０サイクル後に約４７３ｍＡｈ／ｇまで、５００サイクル後に３４１ｍＡｈ／ｇまで徐々に増大するが、これはサイクル当たり、７７％の容量保持および約０．０５２％の容量フェージングに該当する。最初の１０サイクル中に生じる初期活性化プロセス後、クーロン効率は、サイクリング全体を通して約９９．５％で一貫して維持される。

【表２】

	3DGF-S90 容量[mAh/g]
	比硫黄充電(C レート=0.1)
0 サイクル後	1,077
10 サイクル後	824
20 サイクル後	790
50 サイクル後	746
	比硫黄放電(C レート=1)
0 サイクル後	441
30 サイクル後	473
500 サイクル後	341
	電極固有
C レート=0.1 で	969
C レート=0.2 で	772
C レート=0.5 で	615
C レート=1.0 で	500
C レート=2.0 で	381

表 2 – 3DGF-S90 性能能力

【０２６１】
３ＤＧＦ－Ｓ９０の性能特徴を、上記表２に列挙する。まとめると、本開示は、ワンポット合成法を使用する自立型３Ｄグラフェン－硫黄複合体の設計および合成を報告した。より高い導電性の相互接続されたおよび機械的に強力な３Ｄグラフェンと、封じ込められた硫黄粒子との組合せは、０．１Ｃでのカソード全体の重量により正規化したときに約９６９ｍＡｈ／ｇの記録的な高さの容量と、サイクル当たり約０．０５２％の容量フェージングを有する、１Ｃで最大５００サイクルの安定したサイクリング耐久性とを有する、高性能硫黄－カソードをもたらした。これらの結果は、超高硫黄含量の自立型３ＤＧＦが、高度に堅牢なＥＥＳＤに対して将来有望な経路を提供することを実証する。

３Ｄグラフェンフレームワーク電極を有する例示的なスーパーキャパシタの性能および特徴

【０２６２】
例示的なＳＣを、本明細書に記述される方法に従い製作した。本明細書に記述される一部の例では、Ｈ３ＤＧＦ－ＴＭＯ、Ｈ３ＤＧＦ－Ｓｉ、およびＨ３ＤＧＦ電極をカップリングして、高いエネルギーおよび高い電力密度ならびに長いサイクル寿命を有する、スーパーキャパシタデバイスを形成する。

【０２６３】
完全に包装された３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦ－ＳＣコインセルは、約３５Ｗｈ／ｋｇおよび約４９Ｗｈ／Ｌ（両方の電極、集電体、電解質、セパレータ、およびパッケージングを含む、デバイスの全重量または体積により正規化された）のスタック重量および体積エネルギー密度を示す。本明細書に開示される３ＤＧＦまたはＨ３ＤＧＦ電極は、約１０ｍｇ／ｃｍ^{2}またはそれよりも大きい面積質量負荷を含有し、これは本明細書に開示されるＳＣデバイスで用いられるとき、約１７６Ｗｈ／ｍ^{2}またはそれよりも大きい面積電力密度で、約２３Ｗｈ／ｍ^{2}またはそれよりも大きい面積エネルギー密度を送出する。

【０２６４】
例示的な完全に包装された対称的ＳＣを、商用ＳＣの場合よりも約１０倍大きい、記録的に高いエネルギー密度（約３５Ｗｈ／ｋｇおよび約５０Ｗｈ／Ｌ）を送出する、３ＤＧＦおよびＨ３ＤＧＦから作製した。

【０２６５】

ＨＳＤＧＦ－ＴＭＯ複合アノードを有する、例示的なハイブリッドＨＳＤＧＦ－ＴＭＯ／ＨＳＤＧＦ　ＳＣは、典型的なＳＣの電力密度（約１～１０ｋＷ／ｋｇ）を保持しながら、デバイスの全重量に基づいて、約１６～４５Ｗｈ／ｋｇまたはそれよりも大きい全エネルギー密度を達成した（電極材料の重量に基づいて、約４０～１４０Ｗｈ／ｋｇ）。

【０２６６】

高い比容量（約５００～２，０００ｍＡｈ／ｇ）および低い動作電圧電位（約０．５Ｖ未満）を有する例示的なＨＳＤＧＦ－Ｓｉ複合アノードは、ＨＳＤＧＦ－Ｓｉ／ＨＳＤＧＦハイブリッドＳＣのスタックエネルギー密度を約４０～１００Ｗｈ／ｋｇまで増大させる。さらに、ＨＳＤＧＦ－Ｓｉ複合アノードおよびＨＳＤＧＦ－Ｓ複合カソードを使用して、約１５０～４５０Ｗｈ／ｋｇのエネルギー密度を有するＨＳＤＧＦ－Ｓｉ／ＨＳＤＧＦ－Ｓ　ＥＥＳＤを形成した。

本発明の好ましい実施形態によれば、例えば、以下が提供される。

（項１）

３Ｄグラフェンフレームワークを含む電極であって、

ａ）多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造と、

ｂ）容量性または擬似容量性材料を含む複合材料と

を含む、電極。

（項２）

集電体をさらに含む、上記項１に記載の電極。

（項３）

前記３Ｄグラフェンフレームワークが、穴のある３Ｄグラフェンフレームワークを含む、上記項１に記載の電極。

（項４）

約４５０m^2／ｇから約３，０００m^2／ｇの比表面積を有する、上記項３に記載の電極。

（項５）

約３０％から約９９％の負荷率を有する、上記項３に記載の電極。

（項６）

約５００サイクルから約２，０００，０００サイクルのサイクル寿命を有する、上記項３に記載の電極。

（項７）

約０．１のＣレートで、約２５０ｍＡｈ／ｇから約４，０００ｍＡｈ／ｇの比容量を有する、上記項３に記載の電極。

（項８）

約９０％から約９９％の多孔率を有する、上記項１に記載の電極。

（項９）

約０．００２μｍから約１００，０００μｍの細孔直径を有する、上記項１に記載の電極。

（項１０）

前記複合材料が、ケイ素、硫黄、Nb_2O_5、Al_2O_3、V_2O_5、Re_2O_7、CrO_3、CeO_2、RuO_2、ZrO_2、MoO_3、WO_3、TiO_2、またはこれらの任意の組合せを含む、上記項１に記載の電極。

（項１１）

ａ）第１の電極および第２の電極と、

ｂ）電解質と

を含み、

前記第１の電極および前記第２の電極の少なくとも１つが、３Ｄグラフェンフレームワークを含み、前記３Ｄグラフェンフレームワークが、多孔質構造を有するグラフェンシートの相互接続された導電性網状構造を含み、

前記第１の電極および前記第２の電極の少なくとも１つが、容量性または擬似容量性材料

を含む複合材料をさらに含む、エネルギー貯蔵デバイス。
（項１２）
前記３Ｄグラフェンフレームワークが、穴のある３Ｄグラフェンフレームワークを含む、上記項１１に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
（項１３）
前記電解質が、ヘキサフルオロリン酸リチウム、ヨードメタン、硫酸ジメチル、炭酸ジメチル、塩化テトラメチルアンモニウム、メチルトリフレート、ジアゾメタン、フルオロスルホン酸メチル、酢酸エチル、アセトン、ジメチルホルムアミド、アセトニトリル、ジメチルスルホキシド、ニトロメタン、炭酸プロピレン、炭酸エチレン、リチウムビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミド、１－２ジメトキシエタン、１，３－ジオキソラン、硝酸リチウム、またはこれらの任意の組合せを含む、非水性電解質である、上記項１１に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
（項１４）
約１６Ｗｈ／ｋｇから約７５０Ｗｈ／ｋｇの比スタックエネルギー密度を有する、上記項１１に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
（項１５）
約０．５ｋＷ／ｋｇから約２０ｋＷ／ｋｇの比スタック電力密度を有する、上記項１１に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
（項１６）
約１６Ｗｈ／ｋｇから約９００Ｗｈ／ｋｇの比電極重量エネルギー密度を有する、上記項１１に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
（項１７）
約０．５ｋＷ／ｋｇから約４０ｋＷ／ｋｇの比電極重量電力密度を有する、上記項１１に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
（項１８）
約１ｍＦから約１０Ｆの全キャパシタンスを有する、上記項１１に記載のエネルギー貯蔵デバイス。
（項１９）
ａ）酸化グラフェンおよび第１の溶媒の溶液を形成すること、
ｂ）前記溶液を加熱して、穴のある酸化グラフェンを形成すること、
ｃ）前記溶液中の前記穴のある酸化グラフェンを遠心分離すること、
ｄ）前記穴のある酸化グラフェンを、第２の溶媒中で洗浄すること、
ｅ）前記穴のある酸化グラフェンの分散体を第３の溶媒中で形成すること、および
ｆ）前記分散体に酸を添加して、穴のある酸化グラフェンフレームワークを形成することを含む、電極を構成する方法。
（項２０）
電極をロールツーロール法で連続的に形成することが可能である、上記項１９に記載の電極を構成する方法。
（項２１）
前記溶液中の酸化グラフェンの濃度が、約１．１５ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌである、上記項１９に記載の電極を構成する方法。
（項２２）
前記第１の溶媒が、酸素、オゾン、過酸化水素、二酸化フルオライト、過酸化リチウム、過酸化バリウム、フッ素、塩素、硝酸、硝酸塩化合物、硫酸、ペルオキシ二硫酸、ペルオキシ一硫酸、亜塩素酸塩、塩素酸塩、過塩素酸塩、ハロゲン化合物次亜塩素酸塩、次亜ハロゲン酸塩化合物、家庭用漂白剤、６価クロム化合物、クロム酸、二クロム酸、三酸化クロム、クロロクロム酸ピリジニウム、クロム酸化合物、二クロム酸化合物、過マンガン酸化合物、過マンガン酸カリウム、過ホウ酸ナトリウム、亜酸化窒素、硝酸カリウム、ビスマス酸ナトリウム、またはこれらの任意の組合せを含む酸化剤を含む、上記項１９に記載の電極を構成する方法。

（項２３）
前記溶液が、約５０℃から約２００℃の温度に加熱される、上記項１９に記載の電極を構成する方法。
（項２４）
前記第２の溶媒および前記第３の溶媒の少なくとも１つが、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、またはこれらの任意の組合せを含む、上記項１９に記載の電極を構成する方法。
（項２５）
前記酸が、ギ酸酢酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、またはこれらの任意の組合せを含む弱酸を含む、上記項１９に記載の電極を構成する方法。
（項２６）
前記穴のある酸化グラフェンフレームワークを、鋼、ステンレスニッケル、アルミニウム、銅、ビスマス、クロム、コバルト、ガリウム、金、鉄、インジウム、鉛、マグネシウム、水銀、銀、ナトリウム、スズ、チタン、亜鉛、ジルコニウム、青銅、またはこれらの任意の組合せを含む金属フォーム上に押圧することをさらに含む、上記項１９に記載の電極を構成する方法。
（項２７）
前記穴のある酸化グラフェンフレームワークを、
ａ）銀、銅、金、アルミニウム、カルシウム、タングステン、亜鉛、タングステン、黄銅、青銅、ニッケル、リチウム、鉄、白金、スズ、炭素鋼、鉛、チタン、ステンレス鋼、水銀、クロム、ヒ化ガリウム、もしくはこれらの任意の組合せを含む金属膜、または
ｂ）ポリフルオレン、ポリフェニレン、ポリピレン、ポリアズレン、ポリナフタレン、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、ポリピロール、ポリカルバゾール、ポリインドール、ポリアゼピネム、ポリアニリン、ポリチオフェン、ポリ３，４－エチレンジオキシチオフェン、ポリｐ－フェニレンスルフィド、ポリアセチレン、ポリｐ－フェニレンビニレン、もしくはこれらの任意の組合せを含むポリマー膜
を含む集電体上に、堆積することをさらに含む、上記項１９に記載の電極を構成する方法。
（項２８）
超高硫黄含量の３次元グラフェンフレームワークで電極を構成する方法であって、
ａ）ｉ．酸化グラフェン懸濁液を形成すること、および
ｉｉ．前記懸濁液を乾燥させること
を含む、酸化グラフェンを合成すること、ならびに
ｂ）ｉ．硫黄前駆体を前記酸化グラフェン懸濁液および第１の溶媒に添加すること、
ｉｉ．第１の溶液を形成するために第１の酸を添加すること、
ｉｉｉ．前記第１の溶液を撹拌すること、
ｉｖ．第２の溶液を形成するために第２の酸を前記第１の溶液に添加すること、
ｖ．前記第２の溶液を加熱すること、
ｖｉ．前記第２の溶液を第２の溶媒中で洗浄すること、および
ｖｉｉ．前記第２の溶液を凍結乾燥すること
を含む、前記酸化グラフェンから複合硫黄－酸化グラフェンを合成すること
を含む方法。
（項２９）
前記硫黄前駆体が、チオ硫酸ナトリウム、アルカリ性チオ硫酸ナトリウム、チオ硫酸アンモニウム、チオ硫酸バリウム、チオ硫酸カルシウム、金（Ｉ）チオ硫酸ナトリウム無水物、チオ硫酸カリウム、スルフェート、またはこれらの任意の組合せを含む、上記項２８に記載の方法。
（項３０）
前記第１の溶媒および前記第２の溶媒の少なくとも１種が、ギ酸、ｎ－ブタノール、イソプロパノール、ｎ－プロパノール、エタノール、メタノール、酢酸、水、脱イオン水、

またはこれらの任意の組合せを含む、上記項２８に記載の方法。
（項３１）
前記第１の酸が、過塩素酸、ヨウ化水素酸、臭化水素酸、塩酸、硫酸、ｐ－トルエンスルホン酸、メタンスルホン酸、またはこれらの任意の組合せを含む、上記項２８に記載の方法。
（項３２）
前記第２の酸が、ギ酸、アスコルビン酸、酢酸、トリクロロ酢酸、フッ化水素酸、シアン化水素、硫化水素、または任意のこれらの組合せを含む、上記項２８に記載の方法。
（項３３）
前記硫黄前駆体の濃度が、前記電極の負荷率を制御するために約０．５Ｍから約２Ｍに調整される、上記項２８に記載の方法。
（項３４）
前記酸化グラフェン懸濁液の濃度が、約１．２ｇ／Ｌから約４．６ｇ／Ｌである、上記項２８に記載の方法。
（項３５）
前記第１の酸および前記第２の酸の少なくとも１種の濃度が、約０．５Ｍから約４Ｍである、上記項２８に記載の方法。
（項３６）
前記第２の溶液が、約４７℃から約１９０℃の温度で加熱される、上記項２８に記載の方法。

【図面】
【図１Ａ】

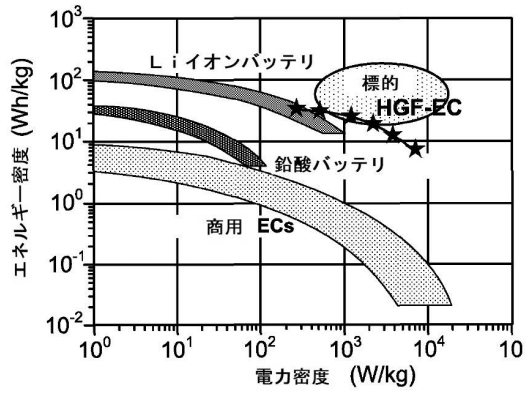


FIG. 1A

【図１Ｂ】

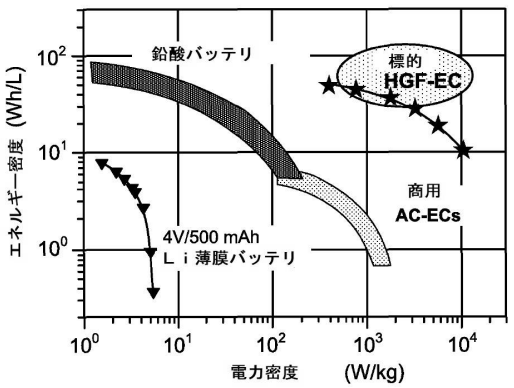


FIG. 1B

【図１Ｃ】

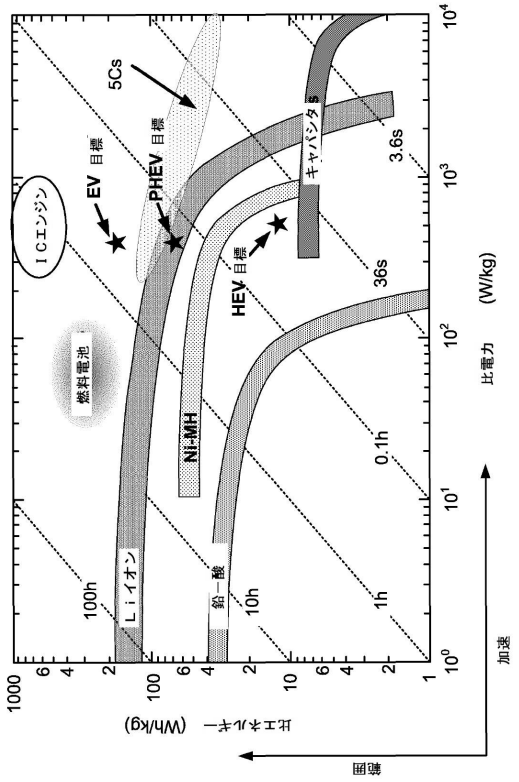


FIG. 1C

【図２Ａ】

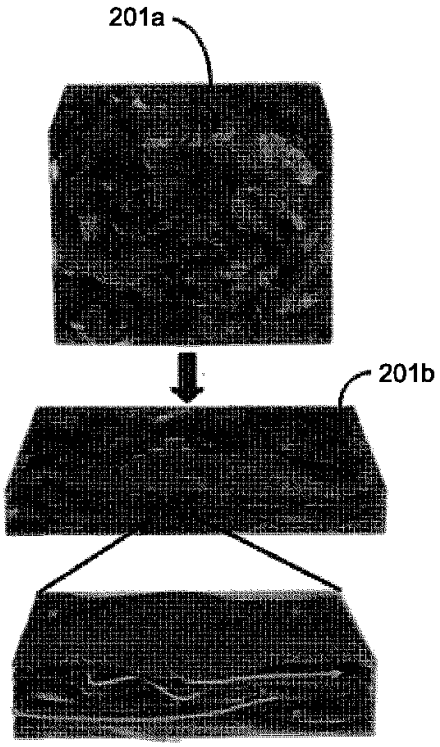


FIG. 2A

【図２Ｂ】

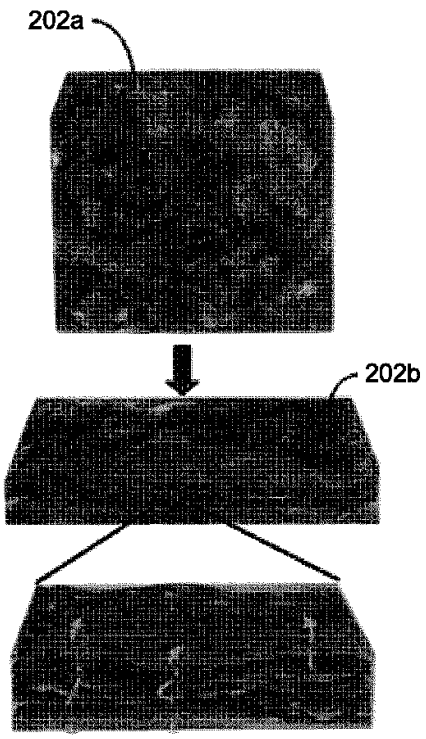


FIG. 2B

【図３】

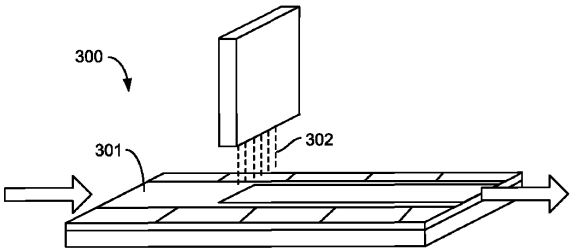


FIG. 3

【図４】

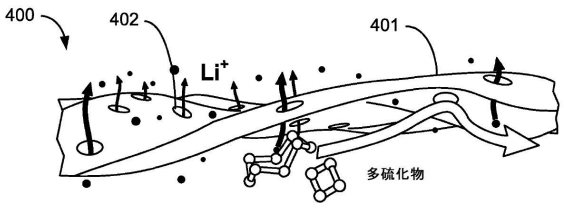


FIG. 4

【図５】

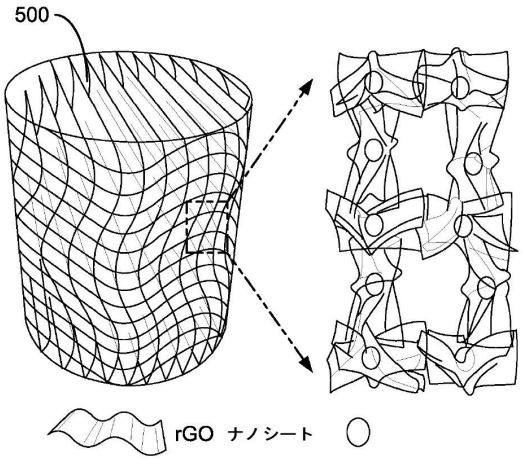


FIG. 5

【図６】

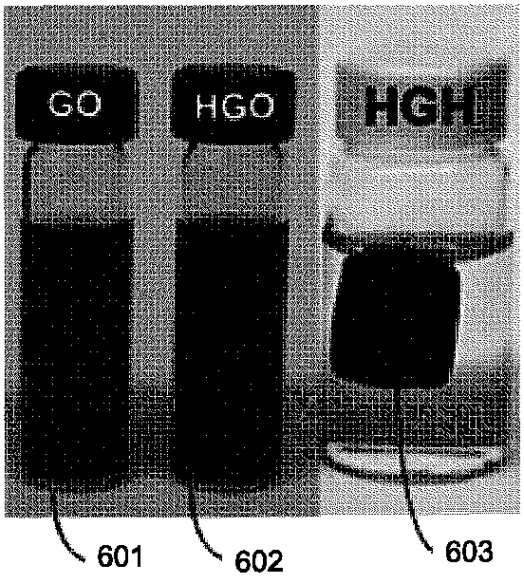


FIG. 6

【図７】

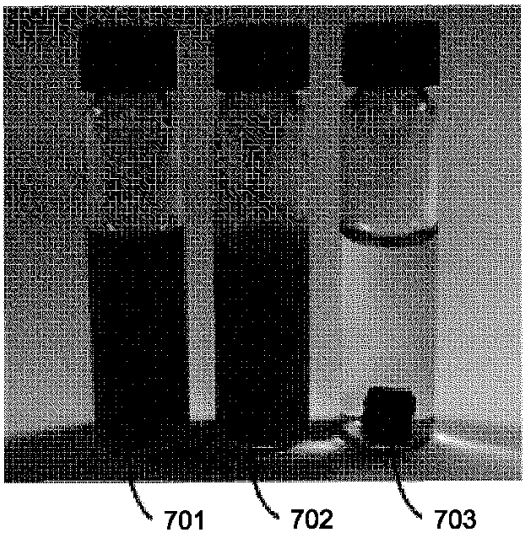
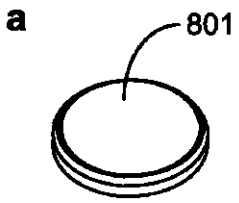
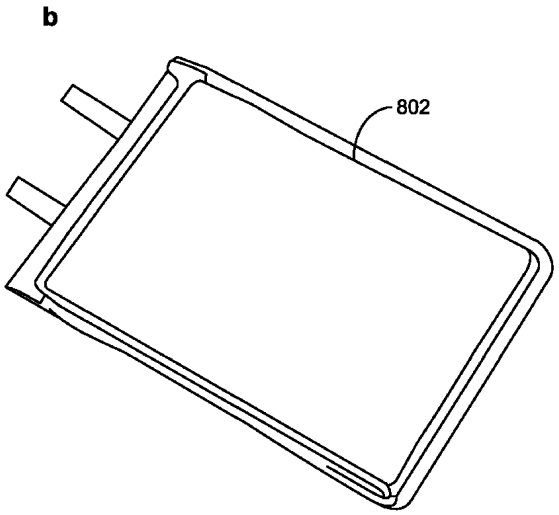


FIG. 7

【図８ａ】



【図８ｂ】



【図９】

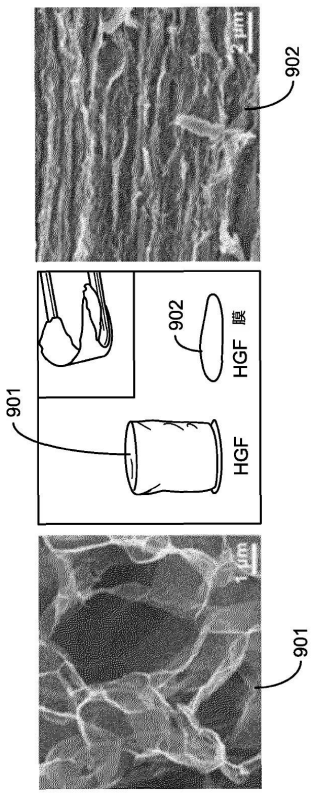


FIG. 9

【図１０】

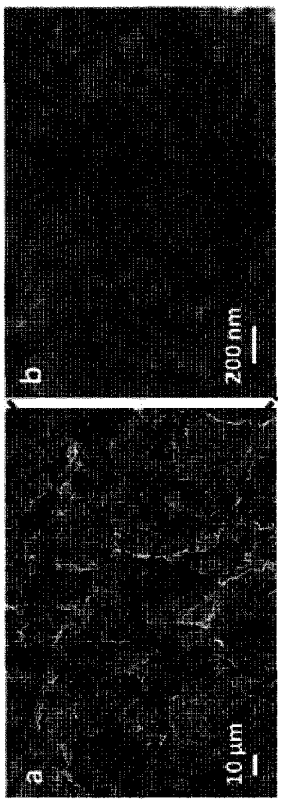


FIG. 10

【図１１】

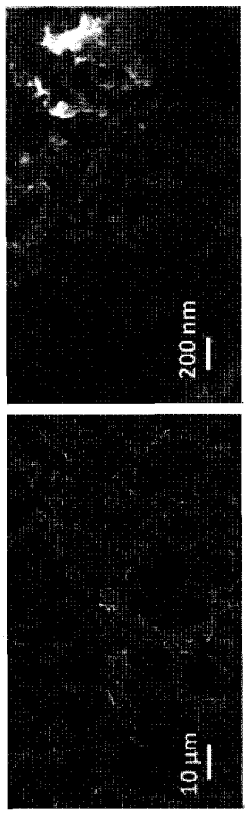


FIG. 11

【図１２Ａ】

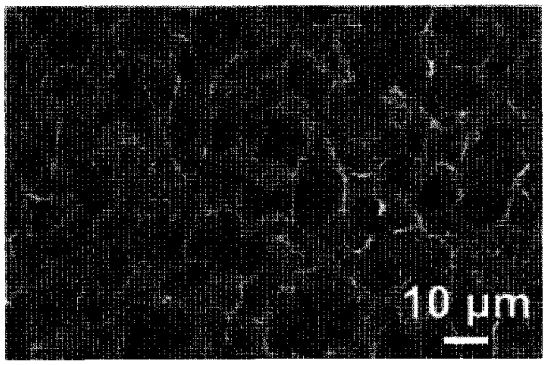


FIG. 12A

【図１２Ｂ】

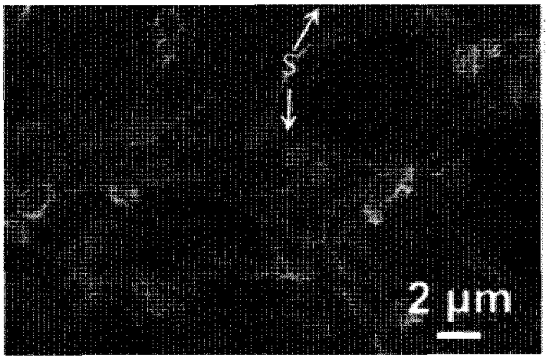


FIG. 12B

【図１３】

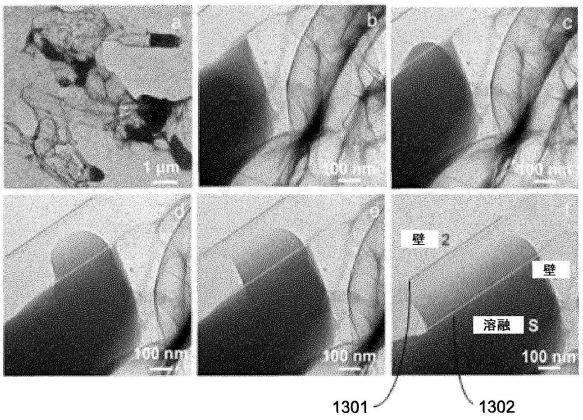
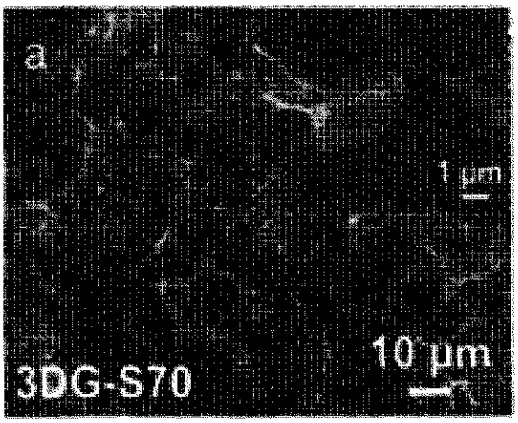
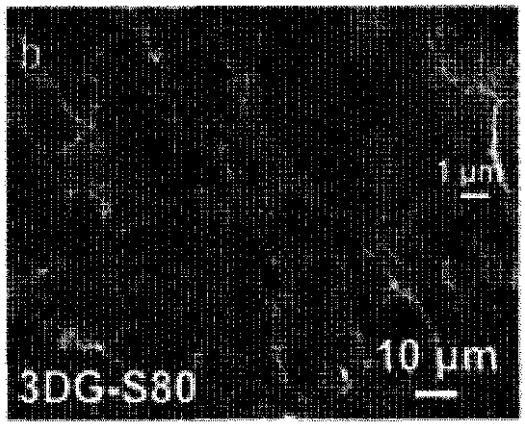


FIG. 13

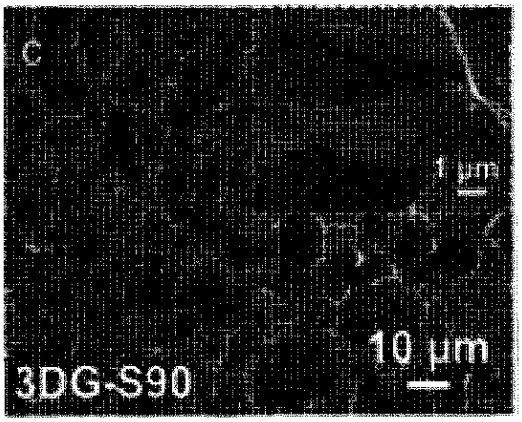
【図１４ａ】



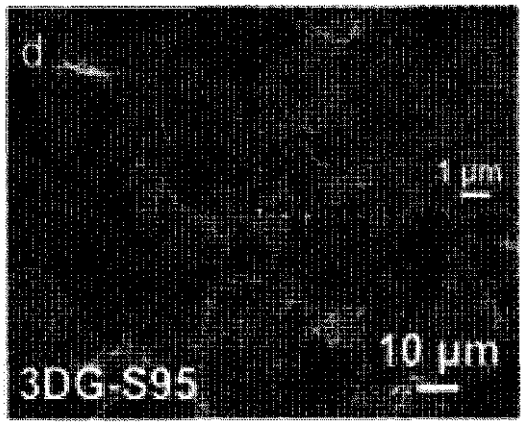
【図１４ｂ】



【図１４ｃ】



【図１４ｄ】



【図１５】

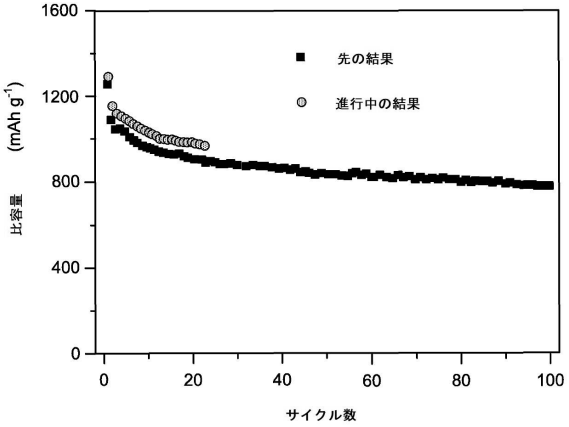


FIG. 15

【図１６】

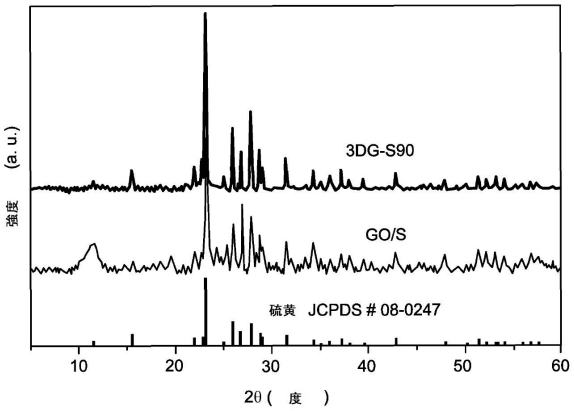


FIG. 16

【図１７】

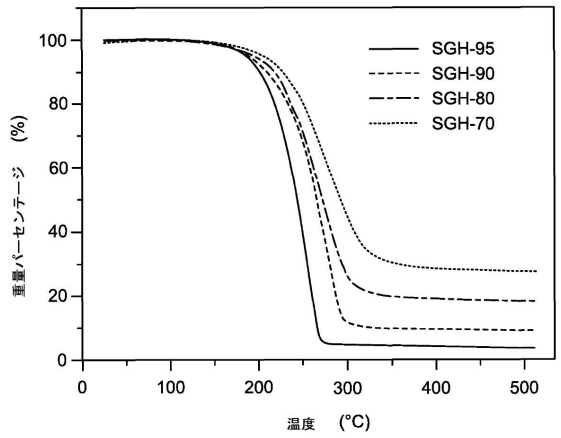


FIG. 17

【図１８－１】

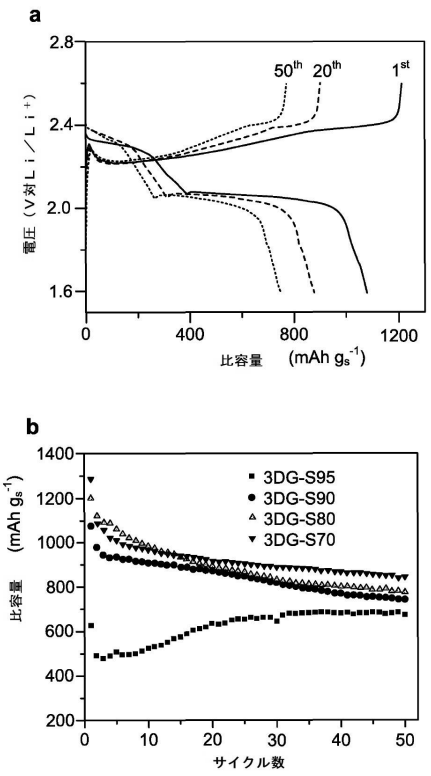


FIG. 18

【図１８－２】

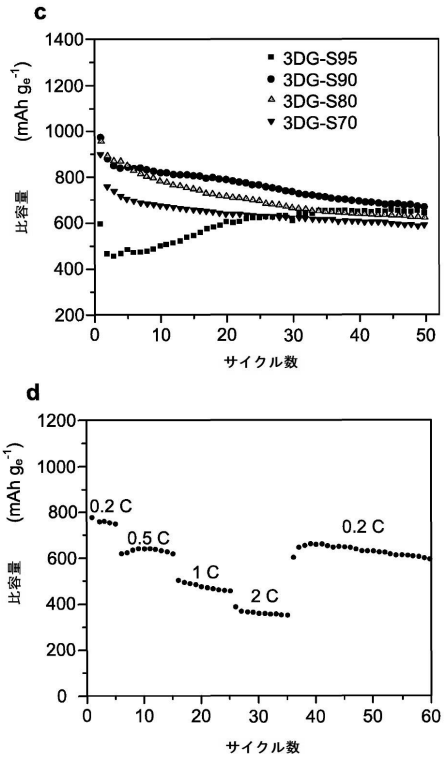


FIG. 18

【図１８－３】

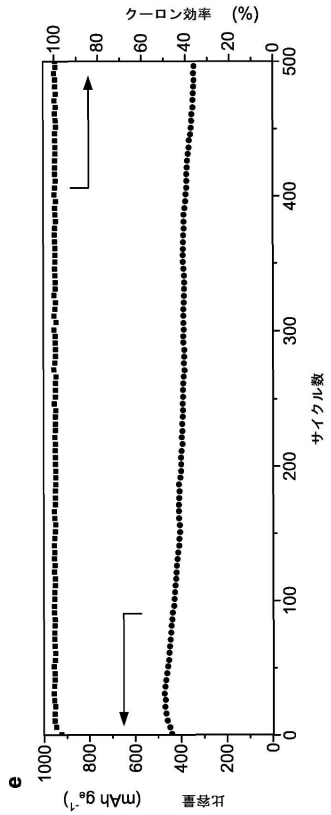


FIG. 18

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
アメリカ合衆国 カリフォルニア ９００９５， ロサンゼルス， チャールズ イー． ヤング ドライブ イースト ６０７
(72)発明者 フアン， ユー
アメリカ合衆国 カリフォルニア ９００２４， ロサンゼルス， ロチェスター アベニュー １０８２６
(72)発明者 パパンドレア， ベンジャミン
アメリカ合衆国 カリフォルニア ９００２５， ロサンゼルス， ベテラン ドライブ １８８５
(72)発明者 シュー， シュー
アメリカ合衆国 カリフォルニア ９００３４， ロサンゼルス， エス． セパルベーダ ブールバード ３２４５
審査官 北原 昂
(56)参考文献 特表２０１６－５２８６７８（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１５／０６９３３２（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１５／００１０８２５（ＵＳ，Ａ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｇ １１／３６
Ｈ０１Ｇ １１／６０
Ｈ０１Ｇ １１／６２
Ｈ０１Ｇ １１／８６
Ｈ０１Ｇ １１／４６