



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
12.06.2024 Patentblatt 2024/24

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C25B 3/26 ^(2021.01) **C25B 9/65** ^(2021.01)
C25B 11/032 ^(2021.01)

(21) Anmeldenummer: **22211300.3**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C25B 3/26; C25B 9/65; C25B 11/032

(22) Anmeldetag: **05.12.2022**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **FILIPPI, Michael**
13581 Berlin (DE)
• **MÖLLER, Tim**
10627 Berlin (DE)
• **STRASSER, Peter**
10629 Berlin (DE)

(71) Anmelder: **Technische Universität Berlin**
10623 Berlin (DE)

(74) Vertreter: **Hertin und Partner**
Rechts- und Patentanwälte PartG mbB
Kurfürstendamm 54/55
10707 Berlin (DE)

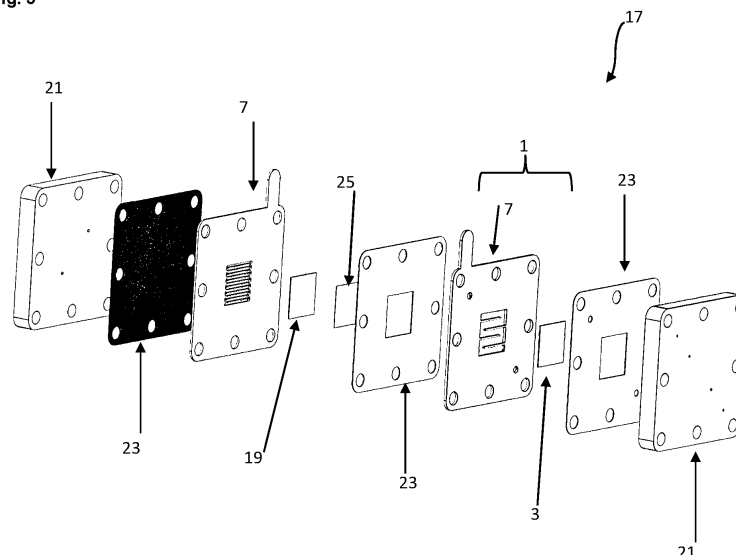
(54) **GASDIFFUSIONSELEKTRODE BASIEREND AUF PORÖSEN HYDROPHOBEN SUBSTRATEN MIT EINEM STROMSAMMLER UND DEREN HERSTELLUNG**

(57) Die Erfindung betrifft eine Gasdiffusionselektrode umfassend ein Substrat, eine Katalysatorschicht und einen Stromsammel. Das Substrat ist elektrisch nicht-leitend, hydrophob und weist eine Porenstruktur auf. Auf dem Substrat ist die Katalysatorschicht aufgebracht. Der Stromsammel weist eine erste Seite und eine zweite Seite auf, wobei die erste Seite einen Polymerschichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich aufweist. Der Polymerschichtabschnitt ist mit einer Polymerschicht beschichtet, während der elektrische Potentialanlegebereich keine Polymerschicht aufweist. Ferner weist die zweite Seite einen elektrischen Kontak-

tierungsabschnitt auf. Der elektrische Kontaktierungsabschnitt ist der Katalysatorschicht zugewandt, sodass eine elektrische Kontaktierung mit dieser ermöglicht wird. Durch die Katalysatorschicht kann ein elektrischer Stromfluss durch den elektrischen Kontaktierungsabschnitt und dem elektrischen Potentialanlegebereich ermöglicht werden.

Des Weiteren betrifft die Erfindung ein System umfassend eine Elektrolysezelle, welche die erfindungsgemäße Gasdiffusionselektrode aufweist und ein Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Gasdiffusionselektrode.

Fig. 5



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Gasdiffusionselektrode umfassend ein Substrat, eine Katalysatorschicht und einen Stromsammel. Das Substrat ist elektrisch nicht-leitend, hydrophob und weist eine Porenstruktur auf. Auf dem Substrat ist die Katalysatorschicht aufgebracht. Der Stromsammel weist eine erste Seite und eine zweite Seite auf, wobei die erste Seite einen Polymerschichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich aufweist. Der Polymerschichtabschnitt ist mit einer Polymerschicht beschichtet, während der elektrische Potentialanlegebereich keine Polymerschicht aufweist. Ferner weist die zweite Seite einen elektrischen Kontaktierungsabschnitt auf. Der elektrische Kontaktierungsabschnitt ist der Katalysatorschicht zugewandt, sodass eine elektrische Kontaktierung mit dieser ermöglicht wird. Durch die Katalysatorschicht kann ein elektrischer Stromfluss durch den elektrischen Kontaktierungsabschnitt und dem elektrischen Potentialanlegebereich ermöglicht werden.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein System umfassend eine Elektrolysezelle, welche die erfindungsgemäße Gasdiffusionselektrode aufweist und ein Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Gasdiffusionselektrode.

Hintergrund und Stand der Technik

[0003] Gasdiffusionselektroden als solche sind generell im Stand der Technik bekannt. Kennzeichnend für eine Gasdiffusionselektrode ist, dass drei Aggregatzustände von Stoffen miteinander in Kontakt gebracht werden für eine elektrochemische Reaktion. Dabei kann der Katalysator als eine Komponente der Gasdiffusionselektrode, welcher einen festen Aggregatzustand aufweist, die elektrochemische Reaktion zwischen einem gasförmigen und flüssigen Stoff katalysieren. Dazu ist es vorgesehen, dass die Gasdiffusionselektrode eine Porenstruktur aufweist, um den Kontakt zwischen dem gasförmigen und flüssigen Stoff zu ermöglichen.

[0004] Gasdiffusionselektroden haben in den letzten Jahren dahingehend an Interesse in der Forschungswelt gewonnen, um hinsichtlich klima- und umweltfreundlicher Energiegewinnung einen Schritt voranzukommen. Insbesondere kann es mithilfe einer Gasdiffusionselektrode ermöglicht werden, eine effiziente elektrochemische Umwandlung von Kohlenstoffdioxid (CO_2) in wertvolle kohlenstoffbasierte Brenn- und Rohstoffe auszuführen. Gerade im Hinblick auf CO_2 -Reduktionsreaktionen können Gasdiffusionselektroden eine nennenswerte Relevanz erlangen.

[0005] Häufig wird die elektrochemische CO_2 -Reduktion in H-Zellen oder Zwei-Kompartiment-Zellen durchgeführt, bei denen eine Elektrode in einem Elektrolyten eingetaucht und das CO_2 kontinuierlich durchgespült wird. Bei dieser Art der CO_2 -Zuführung werden allerdings nur geringe CO_2 -Konzentrationen im Elektrolyten er-

reicht, sodass auch die damit einhergehenden Stromdichten gering sind (z. B. ca. 20 mA/cm^2 (Milliampere pro Quadratzentimeter)). Um die elektrochemische CO_2 -Reduktion im industriellen Maßstab nutzen zu können, sind jedoch Stromdichten von über 100 mA/cm^2 erforderlich. Um dies zu erreichen, werden Gasdiffusionselektroden eingesetzt, bei denen der Diffusionsweg des CO_2 von ca. $50 \text{ }\mu\text{m}$ auf 50 nm minimiert werden kann, was die für industriellen Anwendungen erforderlichen hohen Ströme ermöglicht.

[0006] Ein besonders großes Problem bei der industriellen Nutzung der elektrochemischen CO_2 -Reduktion ist bisher die Stabilität der Gasdiffusionselektroden. Es gibt viele Faktoren, die dazu führen können, dass es zu einem Leistungsverlust der Gasdiffusionselektrode kommt. Neben der Degradation des Katalysators oder des Substrates kann es auch zur Flutung der Gasdiffusionselektrode kommen. Mit dem Flutungsproblem ist insbesondere gemeint, dass überschüssiger Elektrolyt in das Porensystem der Gasdiffusionselektrode eindringen kann. Nachteilig führt dies zu einer schlechteren Zufuhr von CO_2 zu den aktiven Katalysatorspezies. Dies kann die Stabilität der Gasdiffusionselektrode auf wenige Minuten oder einige Stunden beschränken, was den Einsatz im großindustriellen Maßstab unbrauchbar macht.

[0007] Neben den am häufigsten verwendeten Gasdiffusionselektrode-Typen auf Kohlenstoffbasis, die meistens zwei oder drei Schichten umfassen, sind im Stand der Technik auch einschichtige Gasdiffusionselektroden bekannt, deren Funktionalität aber auch unter dem beschriebenen Flutungsproblem leidet. Das liegt unter anderem daran, dass diese Arten von Gasdiffusionselektroden, insbesondere deren Substrate, auf Materialien beruhen, die elektrischen Strom leiten und daher bei den hohen kathodischen Potenzialen, die bei der elektrochemischen Reduktion von CO_2 verwendet werden, elektrokatalytisch aktiv sind und somit ungewollte Reaktionen, wie z. B. die Wasserstoffentwicklung, katalysieren können. Weitere bekannte Gründe für die vorliegenden Flutungsprobleme sind Phänomene wie z. B. eine Salzbildung in den Poren und/oder auch eine Elektrobenetzung.

[0008] Im Stand der Technik liegen einige Vorschläge für einen Aufbau von Gasdiffusionselektroden vor. In Dinh et al. (2018) wird eine polymerbasierte Gasdiffusionselektrode beschrieben. Dabei weist die darin offenbarte Gasdiffusionselektrode ein PTFE-Substrat auf. Auf das PTFE-Substrat liegt eine Kupferschicht vor, auf die wiederum Kohlenstoffpartikel und Graphit aufgebracht sind. Die Kohlenstoffpartikel und das Graphit, welche verschiedene Formen von Kohlenstoff darstellen, dienen hierbei als Stromsammel. Die in Dinh et al. (2018) beschriebene Gasdiffusionselektrode ist auch Gegenstand der Patentanmeldung US 2021/0218036 A1.

[0009] Obwohl die in Dinh et al. (2018) bzw. US2021/0218036 A1 offenbarte Gasdiffusionselektrode durchaus vorteilhafte Effekte aufweist, wie z. B. eine Betriebstauglichkeit von 150 h (Stunden), liegt dennoch ein Bedarf an Optimierung vor. Um Strom von der Gasdiffu-

sionselektrode abgreifen zu können, insbesondere vom Kohlenstoffsystem des Stromsammlers, ist eine seitliche elektrische Kontaktierung nötig. Dies führt zu einer inhomogenen Stromverteilung, die wiederum nachteilig ist für die Stromausbeute und damit auch die Menge an herstellbaren Produkten.

[0010] Ein weiterer Einsatz zum Aufbau einer Gasdiffusionselektrode wird in Tiwari et al. (2018) offenbart. Dazu wird ein Gortex-Substrat verwendet, auf dem ein Katalysatormaterial und ein Nickelnetz aufgebracht werden. Die Katalysatorschicht kann Platinpartikel, einen Kohlenstoffträger sowie PTFE als Bindemittel aufweisen und ca. 200 µm dick sein. Das Nickelnetz auf dem Katalysator dient hierbei als Stromsammel. Die in Tiwari et al. (2018) offenbarte Gasdiffusionselektrode findet insbesondere Anwendung im Kontext von Sauerstoffreduktionsreaktionen.

[0011] Obwohl Ansätze von verbesserten Gasdiffusionselektroden im Stand der Technik vorliegen, gibt es dennoch den Bedarf, Gasdiffusionselektroden bereitzustellen, die sowohl hinsichtlich ihrem strukturellen Aufbau sowie ihrer Funktionalität effizienter ausgestaltet sind.

Aufgabe der Erfindung

[0012] Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine Gasdiffusionselektrode bereitzustellen, die die Nachteile des Standes der Technik beseitigt. Insbesondere sollte eine Gasdiffusionselektrode bereitgestellt werden, mit der eine optimale elektrochemische Katalyse ausführbar ist. Weiterhin sollte die Gasdiffusionselektrode eine hohe Funktionsbeständigkeit aufweisen. Ferner sollte auch ein Verfahren entwickelt werden, mit dem eine solche Gasdiffusionselektrode hergestellt werden kann.

Zusammenfassung der Erfindung

[0013] Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch die unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen offenbart.

[0014] In einem ersten Aspekt betrifft die Erfindung eine Gasdiffusionselektrode für eine Elektrolyse umfassend ein Substrat, eine Katalysatorschicht und einen Stromsammel, wobei das Substrat eine Porenstruktur aufweist und ein elektrisch nicht-leitendes und hydrophobes Material umfasst, wobei der Stromsammel eine erste Seite und eine zweite Seite aufweist, sowie das Substrat als Träger für die Katalysatorschicht und den Stromsammel fungiert, wobei die Katalysatorschicht auf das Substrat angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Seite des Stromsammlers einen Polymer-schichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich aufweist, wobei auf dem Polymerschichtabschnitt eine Polymerschicht vorliegt und der elektrische Potentialanlegebereich elektrisch kontaktierbar ist und die zweite Seite einen elektrischen Kontaktierungsab-

schnitt umfasst, wobei der elektrische Kontaktierungsabschnitt der Katalysatorschicht zugewandt ist, sodass ein elektrischer Strom durch die Gasdiffusionselektrode bei der Elektrolyse fließbar ist.

[0015] Die Kombination der Erfindungsmerkmale führt zu einem überraschenden Synergieeffekt, der zu den vorteilhaften Eigenschaften und Effekten und dem damit einhergehenden Gesamterfolg der Erfindung führt, wobei die einzelnen Merkmale in Wechselwirkung zueinanderstehen. Hierbei hat sich die bevorzugte Gasdiffusionselektrode in einer Vielzahl von Aspekten als überraschend vorteilhaft erwiesen.

[0016] Ein überraschend großer Vorteil der bevorzugten Gasdiffusionselektrode ist die hervorragende Skalierbarkeit. Mit der Skalierbarkeit ist vorzugsweise gemeint, den Aufbau der bevorzugten Gasdiffusionselektrode derart zu gestalten, dass unter anderem eine Anwendung in unterschiedlichen Dimensionen (insbesondere Länge, Breite und/oder Höhe) ausgeführt werden kann. Demzufolge ist der Einsatz der bevorzugten Gasdiffusionselektrode nicht nur im Labormaßstab, sondern auch in großindustriellen Anwendungen möglich.

[0017] Darüber hinaus ist es von überraschend großem Vorteil, dass mittels der bevorzugten Gasdiffusionselektrode höhere partielle Stromdichten resultieren. Der durchschnittliche Fachmann ist sich darüber im Klaren, dass mit einer partiellen Stromdichte die Stromdichte gemeint ist, die in die Bildung der Produkte hineinfließt. Insbesondere meint die partielle Stromdichte eine Stromdichte, welche an einer Elektrode (Anode oder Kathode) während eines Reaktionsablaufes fließt. Weiterhin weiß der Durchschnittsfachmann, dass sich die partielle Stromdichte durch das Produkt aus der angewandten Stromdichte (kathodisch oder anodisch) und der Faradayschen Effizienz ergibt. Vorteilhafterweise geht die höhere erzielbare Stromdichte auch mit einer höheren Produktrate einher, da die Produktrate im Wesentlichen proportional zur partiellen Stromdichte ist. Mit der Produktrate ist vorzugsweise die Menge an Produkten gemeint, die pro Elektrodenflächeneinheit produzierbar ist. So können vorteilhafterweise Stromdichten von über 300 mA/cm² (Milliampere pro Quadratzentimeter) erzielt werden und dementsprechend deutliche höhere Produktraten, was ebenfalls für die industrielle Anwendbarkeit relevant ist. Insbesondere konnten vorteilhaft mittels der bevorzugten Gasdiffusionselektrode höhere Faradaysche Effizienzen erreicht werden. Mit der Faradayschen Effizienz ist im erfindungsgemäßen Kontext ein Maß gemeint, um die Effizienz des elektrischen Stromes bei der entsprechenden chemischen Reaktion zu charakterisieren. Die vorteilhaft höhere Stromdichte, die beim Einsatz der bevorzugten Gasdiffusionselektrode erreichbar ist, geht mit einer höheren Faradayschen Effizienz einher.

[0018] Weiterhin ist ein überraschend großer Vorteil, dass das im Stand der Technik bekannte Flutungsproblem im Wesentlichen durch die bevorzugte Gasdiffusionselektrode nicht auftritt. Wie eingangs beschrieben, ist mit dem Flutungsproblem im Kontext von Gasdiffusions-

elektroden gemeint, dass der Elektrolyt in die Poren des Substrates eindringen kann und somit der CO_2 Transport in die Katalysatorschicht behindert wird. Hierdurch nimmt die Leistung einer Gasdiffusionselektrode und die Funktionsdauer ab. Vorteilhafterweise treten nachteilige Effekte durch Flutungsprobleme bei der bevorzugten Gasdiffusionselektrode nicht auf, da die Flutung vom Elektrolyt in die Gasdiffusionselektrode verhindert wird. Dies erfolgt insbesondere durch die Hydrophobizität des bevorzugten Substrates. Demzufolge weist die bevorzugte Gasdiffusionselektrode vorteilhafterweise eine hohe Langzeitstabilität auf, insbesondere die Katalysatorschicht der bevorzugten Gasdiffusionselektrode. Vor allem die Kombination der bevorzugten Komponenten der Gasdiffusionselektrode sowie deren Anordnung führten zu einer überraschend hohen Langzeitstabilität der Katalysatorschicht, die eine hervorragende Katalyse für chemische Reaktionen ermöglichte. Besonders vorteilhaft wirkt sich die bevorzugte Gasdiffusionselektrode bei der Reduktion von CO_2 aus. Auch für andere Reaktionen und/oder Produkte ist die bevorzugte Gasdiffusionselektrode vorteilhaft.

[0019] So können beispielsweise mithilfe der bevorzugten Gasdiffusionselektrode überraschend hohe lokale pH-Werte erreicht werden, sodass höhere Produktraten von z. B. Ethylen, Ethanol, Propanol usw. ermöglicht werden. Der Begriff des lokalen pH-Wertes bezeichnet den pH-Wert in einer Umgebung der Katalysatorschicht und ist dem Fachmann klar, da der Ausdruck "lokaler pH-Wert" im Stand der Technik geläufig ist. Der lokale pH-Wert korrespondiert mit der Konzentration von Protonen in der Umgebung der Katalysatorschicht, sodass ein höherer lokaler pH-Wert mit einer niedrigeren Konzentration von Protonen und dementsprechend mit einer hohen Konzentration von Hydroxid-Ionen einhergeht. Dabei kann der lokale pH-Wert und damit die höhere Konzentration an Hydroxid-Ionen durchaus Parameter, wie z. B. die partielle Stromdichte vorteilhaft beeinflussen, ohne auf den genannten beispielhaften Parameter beschränkt zu sein. Ein weiterer besonderer Vorteil der bevorzugten Gasdiffusionselektrode ist die einfache Herstellbarkeit. Insbesondere kann die bevorzugte Gasdiffusionselektrode mit im Stand der Technik bewährten Prozessen bereitgestellt werden, sodass vorteilhaft die Zurverfügungstellung in einer kurzen Zeit sowie ohne hohen Aufwand erfolgen kann.

[0020] Der Begriff der Gasdiffusionselektrode ist dem Fachmann klar und bezeichnet eine Elektrode, die eine feste, flüssige und gasförmige Grenzfläche aufweist. Mithilfe eines Katalysators wird die elektrochemische Reaktion zwischen der flüssigen und gasförmigen Phase während einer Elektrolyse unterstützt.

[0021] Eine Elektrolyse bezeichnet einen Prozess, bei dem eine oder mehrere chemische Reaktionen ablaufen, bei denen sich der Oxidations- und/oder Reduktionszustand verändert. Weiterhin bezeichnet die Elektrolyse einen chemischen Prozess, bei dem durch Anlegen eines elektrischen Gleichstromes die eine oder mehreren che-

mischen Reaktionen erzwungen werden. Insbesondere erfolgt dabei eine ionische Leitung zwischen Anode und Kathode durch den Elektrolyten, durch den die ionische Leitung ermöglicht wird. An den Elektroden entstehen durch die Elektrolyse Reaktionsprodukte aus den im Elektrolyten enthaltenen Stoffen.

[0022] Die bevorzugte Gasdiffusionselektrode umfasst vorzugsweise ein Substrat, eine Katalysatorschicht und einen Stromsammel. Insbesondere umfasst die Gasdiffusionselektrode die Gesamtheit der bevorzugten Komponenten.

[0023] Das Substrat kann im erfindungsgemäßen Kontext auch als Gasdiffusionslage (englisch: gas diffusion layer) bezeichnet werden. Ferner ist das Substrat insbesondere dem Gastransport gewidmet. Mit anderen Worten ausgedrückt, ist es durch die Porenstruktur des Substrates möglich, dass ein Gas durch die Poren des Substrates zur Katalysatorschicht beförderbar ist. Weiterhin fungiert das Substrat insbesondere als Träger für die Katalysatorschicht und den Stromsammel. Das Substrat kann bevorzugt eine runde oder eckige Form annehmen und/oder als eine Membran ausgebildet sein. Das Substrat weist bevorzugt eine Länge und/oder eine Breite auf, die um ein Vielfaches höher ist als eine Dicke des Substrates. Das Vielfache der Dicke, welches bevorzugt die Länge und/oder Breite des Substrates aufweist, kann einem Faktor von ca. 1,5, 2, 5, 100, 1 000, 10 000, 100 000 oder mehr entsprechen. Weiterhin kann es bevorzugt sein, dass das Substrat eine Dicke im Submillimeterbereich bis in den Millimeterbereich aufweist, vorzugsweise zwischen ca. 50 μm - 2 mm.

[0024] Begriffe wie im Wesentlichen, ca. etc. beschreiben bevorzugt einen Toleranzbereich von weniger als $\pm 40\%$, bevorzugt weniger als $\pm 20\%$, besonders bevorzugt weniger als $\pm 10\%$, noch stärker bevorzugt weniger als $\pm 5\%$ und insbesondere weniger als $\pm 1\%$ und umfassen insbesondere den exakten Wert. Teilweise beschreibt bevorzugt eine Toleranz von mindestens $\pm 5\%$, besonders bevorzugt zu mindestens $\pm 10\%$, und insbesondere zu mindestens $\pm 20\%$, in einigen Fällen zu mindestens $\pm 40\%$.

[0025] Weiterhin ist es bevorzugt, dass das Substrat elektrisch nicht-leitend und hydrophob ist. Dass das bevorzugte Material des Substrats elektrisch nicht-leitend sein soll, ist dahingehend relevant, um jegliche chemische Nebenreaktionen zu unterdrücken und damit auch Flutungseffekte bzw. Flutungsprobleme zu vermeiden. Demzufolge gewährleistet die elektrische Nichtleitfähigkeit des Substrates einen zuverlässigen Betrieb während einer Elektrolyse.

[0026] Die bevorzugte Hydrophobizität (oder auch Hydrophobie) des Substrates sorgt vorteilhaft dafür, dass der Flüssigkeitsanteil, insbesondere der Wasseranteil, eines Elektrolyten vom Substrat eine Abweisung erfährt. Mithin kann vorteilhaft vermieden werden, dass Elektrolyt oder unerwünschte Mengen an Elektrolyt in die bevorzugten Poren des Substrates eindringen. Dies geht mit dem vorteilhaften Effekt einher, dass Flutungsproble-

me, welche aus dem Stand der Technik bekannt sind und zu Degradationen der Katalysatorschicht führen können, vermieden werden.

[0027] Die Hydrophobie des Substrates zeichnet sich bevorzugt dadurch aus, dass ein Kontaktwinkel von oder über ca. 90° vorliegt, falls Flüssigkeit, beispielsweise Wasser, mit dem Substrat in Kontakt gebracht wird.

[0028] Vorzugsweise weist das Substrat eine Porenstruktur auf. Mit der Porenstruktur des Substrates ist insbesondere gemeint, dass das Substrat Poren aufweist. Die Poren zeichnen sich durch Öffnungen aus, die im Substrat eingebracht sind. Durch die Poren bzw. der Porenstruktur wird es ermöglicht, dass Moleküle eines Gases in die Katalysatorschicht der Gasdiffusionselektrode eindringen können, die dann durch die Katalysatorschicht katalysierbar sind.

[0029] Die Katalysatorschicht liegt bevorzugt auf dem Substrat vor. Die Katalysatorschicht umfasst ein Material, welches in der Lage ist, eine chemische Reaktion zu katalysieren. So kann beispielsweise die Katalysatorschicht Metalle und/oder Metallverbindungen aufweisen, die insbesondere als aktives Material während einer Reduktion von CO₂ auftreten können. Vorzugsweise umfasst die Katalysatorschicht Metallpartikel. Bevorzugt befindet sich die Katalysatorschicht zwischen dem Substrat und dem Stromsammler.

[0030] Der Stromsammler bezeichnet im erfindungsgemäßen Kontext eine Metallstruktur, die eine oder mehrere Öffnungen aufweist und eine elektrische Verbindung mit der Katalysatorschicht ermöglicht. Da es bevorzugt ist, dass der Stromsammler ein Metall umfasst, kann die elektrische Kontaktierung mit der Katalysatorschicht durch eine direkte Platzierung auf der Katalysatorschicht erfolgen. Ebenfalls kann es bevorzugt sein, eine elektrisch leitfähige Zwischenschicht zwischen Stromsammler und Katalysatorschicht anzubringen, um für den elektrischen Kontakt zu sorgen. Beispielsweise kann der Stromsammler als ein Metallgitter oder eine Monopolarplatte ausgestaltet sein.

[0031] Der Stromsammler umfasst vorzugsweise eine erste Seite und eine zweite Seite. Mit den Ausdrücken "erste Seite" und "zweite Seite" des Stromsammlers sind Abschnitte des Stromsammlers gemeint, die eine Konkretisierung der Positionen einzelner Komponenten der bevorzugten Gasdiffusionselektrode vereinfachen können. Bevorzugt meinen die Ausdrücke "erste Seite" und "zweite Seite" des Stromsammlers Flächenanteile des Stromsammlers, die einander gegenübergestellt sind. Die erste Seite und zweite Seite können vorzugsweise auch mit der Vorderseite und Rückseite des Stromsammlers korrespondieren. Weiterhin ist es bevorzugt, dass die erste Seite des Stromsammlers der Katalysatorschicht abgewandt ist, während die zweite Seite des Stromsammlers der Katalysatorschicht zugewandt ist.

[0032] Bevorzugt umfasst die erste Seite des Stromsammlers einen Polymerschichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich. Der Polymerschichtabschnitt bezeichnet vorzugsweise einen Ab-

schnitt der ersten Seite des Stromsammlers, auf dem eine Polymerschicht aufgebracht ist. Der elektrische Potentialanlegebereich bezeichnet bevorzugt einen Abschnitt der ersten Seite des Stromsammlers, der keine Polymerschicht aufweist. Durch die Polymerschicht, die auf dem Polymerschichtabschnitt der ersten Seite des Stromsammlers vorliegt wird vorteilhafterweise eine elektrische Isolierung gegenüber einem Elektrolyten erlangt. Dies ist besonders relevant, wenn die bevorzugte Gasdiffusionselektrode während einer Elektrolyse in einem Elektrolyten zum Einsatz kommt. Insbesondere ist die Polymerschicht an dem Stromsammler insbesondere für die Reduktion als solche relevant, beispielsweise für die CO₂-Reduktion. Das liegt daran, dass Nebenreaktionen, wie z. B. die Wasserstoffentwicklung, die an der Oberfläche des Stromsammlers stattfinden können, durch die Polymerschicht unterdrückt werden.

[0033] Vorzugsweise befindet sich die Polymerschicht auf dem Stromsammler, wobei lediglich der Kontaktierungsabschnitt und der elektrische Potentialanlegebereich nicht mit der Polymerschicht beschichtet sind, um einen sicheren elektrischen Stromtransport gewährleisten zu können. In einer dreidimensionalen Betrachtungsweise sind beispielsweise auch Seitenwände des Stromsammlers, insbesondere im Falle einer Monopolarplatte oder eines Gitters bzw. einer Gitterstruktur, mit der Polymerschicht beschichtet.

[0034] Der elektrische Potentialanlegebereich des Stromsammlers bietet eine elektrische Kontaktierungsmöglichkeit, sodass ein Stromfluss über den elektrischen Potentialanlegebereich abgreifbar ist. Vorzugsweise liegt der elektrische Potentialanlegebereich auf der ersten Seite des Stromsammlers vor, beispielsweise im Falle einer Gitterplatte als Stromsammler. Weiterhin kann es bevorzugt sein, dass der elektrische Potentialanlegebereich auf der ersten Seite und auf der zweiten Seite des Stromsammlers angebracht ist. Letztere Variante kann beispielsweise der Fall sein, wenn der Stromsammler als Monopolarplatte vorliegt und der elektrische Potentialanlegebereich eine Struktur aufweist, die zweiseitig, mit z. B. einer Klemme, für eine elektrische Verbindung kontaktierbar ist. Mithin ist es im erfindungsgemäßen Kontext legitim zu beschreiben, dass der elektrische Potentialanlegebereich mindestens teilweise auf der ersten Seite des Stromsammlers vorliegt.

[0035] Die zweite Seite des Stromsammlers umfasst vorzugsweise einen elektrischen Kontaktierungsabschnitt, der keine Polymerschicht aufweist. Die zweite Seite und dementsprechend auch der elektrische Kontaktierungsabschnitt sind der Katalysatorschicht zugewandt. Der elektrische Kontaktierungsabschnitt bezeichnet bevorzugt den Abschnitt, der die elektrische Kontaktierung zwischen Stromsammler und Katalysatorschicht ermöglicht. Damit stellt der elektrische Kontaktierungsabschnitt bevorzugt einen Bereich des Stromsammlers dar, der mit der Katalysatorschicht elektrisch kontaktierbar ist. Mithin wird es ermöglicht, dass ein elektrischer Strom durch die Gasdiffusionselektrode bei einer Elek-

trollyse fließbar ist. Insbesondere kann der elektrische Strom durch den elektrischen Potentialanlegebereich des Stromsammlers zum elektrischen Kontaktierungsabschnitt und dann zur Katalysatorschicht fließen.

[0036] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrolyse eine Reduktion von gasförmigem Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid, Sauerstoff, Stickstoff, Stickstoffoxid und/oder Stickstoffdioxid umfasst.

[0037] Vorteilhafterweise lässt sich die bevorzugte Gasdiffusionselektrode in einer Vielzahl von Elektrolysereaktionen anwenden. Insbesondere ist die Nutzung der bevorzugten Gasdiffusionselektrode nicht auf eine bestimmte Elektrolysereaktion beschränkt.

[0038] Besonders nützlich ist die bevorzugte Gasdiffusionselektrode im Kontext der Reduktion von Kohlenstoffdioxid während einer Elektrolyse. Vorteilhaft lassen sich hierdurch viele Produkte und/oder Vorläufer für die Chemie-, Pharma- und/oder Lebensmittelindustrie durch die Reduktion von CO₂ gewinnen, die von großer Bedeutung sind, wie z. B. Ethylen, Ameisensäure, Ethanol, Propanol usw., die auch für Folgeprodukte der elektrochemischen CO₂-Reduktion relevant sein können, wie z. B. Polyethylen, Ethylenoxid, synthetische Kraftstoffe etc. Der durchschnittliche Fachmann weiß, dass neben dem reduzierenden Gas das Produkt auch von der verwandten Katalysatorschicht abhängt. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der bevorzugten Gasdiffusionselektrode für Elektrolysereaktionen liefern einen vorteilhaften Beitrag zum Stand der Technik.

[0039] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass der Stromsammmler als eine Monopolarplatte oder eine Gitterstruktur vorliegt, bevorzugt als eine Monopolarplatte. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform liegt der Stromsammmler als ein Streckmetall vor.

[0040] Die genannten bevorzugten Ausführungsformen zur Bereitstellung des Stromsammlers durch eine Gitterstruktur oder eine Monopolarplatte oder ein Streckmetall haben sich als besonders vorteilhaft erwiesen.

[0041] Eine Gitterstruktur ist insbesondere im Labormaßstab vorteilhaft, da eine kostengünstige und einfache Umsetzung ermöglicht wird. Eine Gitterstruktur meint vorzugsweise eine gitterförmige Metallplatte, wobei eine Gitterform durch Stege der Metallplatte gebildet wird. Die Begriffe Gitterstruktur und Gitterplatte können im erfindungsgemäßen Kontext synonym verwandt werden.

[0042] Eine Monopolarplatte bezeichnet vorzugsweise eine Metalplatte, die einen elektrischen Pol aufweist, sodass über diesen elektrischer Strom fließbar ist. Die Vorsilbe "Mono" soll bereits suggerieren, dass durch die Monopolarplatte eine "einpole Platte" vorliegt. Die Monopolarplatte weist bevorzugt eine im Wesentlichen scheibenförmige Gestalt auf. Insbesondere ist die Länge und/oder Breite der Monopolarplatte um ein Vielfaches

größer als die Dicke. Weiterhin umfasst die Monopolarplatte vorzugsweise Öffnungen, um beispielsweise über die Öffnungen Halterungen zur Verbindung mit weiteren Komponenten einzuführen, beispielsweise für den Aufbau einer Elektrolysezelle. Die Öffnungen werden vorzugsweise auch für die Durchleitung des Elektrolyten eingesetzt. Darüber hinaus weist die Monopolarplatte bevorzugt Stege auf. Besonders bevorzugt liegen die Stege in einem mittleren Abschnitt der Monopolarplatte. Weiterhin ist es bevorzugt, dass die Stege einer Monopolarplatte in einer Aussparung eingebracht sind.

[0043] Vorteilhafterweise kann die Monopolarplatte sowohl einfach skaliert als auch bearbeitet werden. Die einfache Bearbeitung kann sich insbesondere auf die leicht umsetzbaren Gestaltungsmöglichkeiten für die bevorzugten Stege beziehen. Durch die Stege wird vorteilhaft ein Flussfeld für den Elektrolyt bereitgestellt, d. h. insbesondere eine Richtungsvorgabe für den Fluss des Elektrolyten. Mit anderen Worten ausgedrückt, wird durch die Stege der Monopolarplatte ein Weg für den Elektrolyten vorgegeben, durch den der Elektrolyt an der Katalysatorschicht entlang fließen kann.

[0044] Zwar weist die Gitterstruktur auch Stege auf. Im Gegensatz zur Monopolarplatte liegt durch die Gitterform der Gitterstruktur jedoch kein Flussfeld vor, sodass beim Einsatz einer Gitterstruktur ein zusätzliches Flussfeld bereitgestellt werden müsste. Beim Einsatz einer Monopolarplatte liegt vorteilhafterweise durch die darin gebildeten Stege auch das Flussfeld für den Elektrolyten vor. Vorteilhaft wird beim Einsatz einer Monopolarplatte unter anderem durch die Bereitstellung des Flussfeldes kein zusätzlicher Platz für eine Komponente benötigt, die, falls kein Flussfeld vorläge, ein solches Flussfeld liefern sollte. Damit wird durch den Einsatz einer bevorzugten Monopolarplatte auch der Abstand zwischen der Gasdiffusionselektrode als Kathode und einer Anode verringert. Mithin wird durch den Einsatz einer Monopolarplatte vorteilhaft die Energieeffizienz des Elektrolyseprozesses verbessert, da durch den geringeren Abstand niedrigere ohmsche Verluste (Verlustleistung) auftreten.

[0045] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass der Stromsammmler als eine Monopolarplatte vorliegt und der elektrische Potentialanlegebereich an der ersten Seite des Stromsammlers als ein mit der Polymerschicht unbeschichteter Abschnitt vorliegt.

[0046] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass der Stromsammmler als eine Gitterstruktur vorliegt und der elektrische Potentialanlegebereich an der ersten Seite des Stromsammlers als ein mit der Polymerschicht unbeschichteter Abschnitt vorliegt.

[0047] In bevorzugten Ausführungsformen ist am elektrischen Potentialanlegebereich ein Metalltape eingebracht, besonders bevorzugt im Falle einer Gitterstruktur als Stromsammmler. Durch das bevorzugte Metalltape kann vorteilhaft ein zuverlässiger elektrischer Kontakt ermöglicht werden. Das Metalltape kann beispielsweise

ein Kupfertape sein, ohne auf dieses Beispiel beschränkt zu sein.

[0048] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass der Stromsammel Stege umfasst, wobei die Stege parallel, serpentinförmig oder gitterförmig angeordnet sind, wobei eine parallele Anordnung der Stege bevorzugt ist.

[0049] Die genannten Anordnungen für die bevorzugten Stege des Stromsammlers haben sich dahingehend als vorteilhaft erwiesen, dass sie (bis auf die Gitterform, da dieses kein Flussfeld bietet) einen geeigneten Fluss des Elektrolyten an der Katalysatorschicht ermöglichen. Mithin bieten die bevorzugten Anordnungen für die Stege einen zuverlässigen Stromtransport über die Katalysatorschicht durch den Stromsammel hindurch.

[0050] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass der Stromsammel ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Nickel, Titan, Aluminium, Kupfer, Gold, Silber, Edelstahl und/oder Kombinationen der vorgenannten Materialien.

[0051] Die bevorzugten Materialien für den Stromsammel können einzeln zur Bereitstellung des Stromsammlers fungieren, sodass es bevorzugt sein kann, dass der Stromsammel im Wesentlichen ein Material umfasst. In weiteren bevorzugten Ausführungsformen kann der Stromsammel zwei oder mehr Materialien umfassen. Weiterhin kann es bevorzugt sein, dass eine Kombination mehrerer Materialien vorliegt.

[0052] Unter einer Kombination mehrerer Materialien ist im erfindungsgemäßen Kontext insbesondere eine chemische Verbindung aufzufassen. Die chemische Verbindung kann beispielsweise eine ionische Bindung, kovalente Bindung, metallische Bindung und/oder schwache Bindung aufweisen. So kann es beispielsweise sein, dass der Stromsammel eine Legierung als Material umfasst.

[0053] Vorteilhafterweise erlaubt die Nutzung der bevorzugten Materialien für den Stromsammel einen optimalen Stromtransport, sodass ohmsche Verluste möglichst geringgehalten werden. Darüber hinaus sind die genannten Materialien dahingehend von Vorteil, dass eine hinreichend stabile Haftung der Polymerschicht mit dem Stromsammel erreichbar ist. Vorteilhaft kann damit die bevorzugte Gasdiffusionselektrode in einer Vielzahl von Elektrolyten eingebracht werden, ohne Verluste der Polymerschicht hinnehmen zu müssen. Die Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität der bevorzugten Gasdiffusionselektrode wird hierdurch vorteilhaft verbessert.

[0054] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass der Stromsammel eine Dicke aufweist zwischen ca. 0,1 - 20 mm, bevorzugt zwischen ca. 0,5 - 10 mm, besonders bevorzugt zwischen ca. 0,5 - 5 mm.

[0055] Die genannten bevorzugten Dicken des Stromsammlers sind dahingehend von überraschendem Vorteil, dass durch eine Bereitstellung eines Flussfeldes be-

sonders einfach ein Elektrolyt während einer Elektrolyse entlang der bevorzugten Gasdiffusionselektrode fließen kann. Des Weiteren sind die genannten Dicken deshalb vorteilhaft, dass ein möglichst geringer Abstand zwischen der bevorzugten Gasdiffusionselektrode als Kathode und einer Anode in einer Elektrolysezelle ermöglicht werden kann. Darüber hinaus gewährleisten die genannten bevorzugten Dicken vorteilhafterweise einen effizienten Stromtransport, was bei zu dünnen elektrisch leitfähigen Strukturen (z. B. im Nanometerbereich) nicht möglich wäre. Mithin werden durch die genannten Dicken mehrere Vorteile erzielt, die einen überraschenden synergistischen Effekt für die bevorzugte Gasdiffusionselektrode zur Folge haben.

[0056] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass die Polymerschicht ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Polytetrafluorethylen (PTFE) und/oder Polyvinylidenfluorid (PVDF).

[0057] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Polymerschicht ein Polymer aus der Gruppe der perfluorierten Polymere (wie z. B. PTFE und/oder PFA (Perfluoralkoxy-Polymere)). In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Polymerschicht ein Polymer aus der Gruppe der nicht perfluorierten Polymere (wie z. B. Polyetheretherketon (PEEK), Polypropylen (PP) und/oder ein Epoxidpolymer aus der Gruppe der Epoxide). In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Polymerschicht ein Polymer aus der Gruppe der perfluorierten Polymere und ein Polymer aus der Gruppe der nicht perfluorierten Polymere.

[0058] Die bevorzugten Materialien für die Polymerschicht haben sich dahingehend als vorteilhaft erwiesen, dass sie eine hinreichend stabile Bindung mit dem Stromsammel erzielen können und damit eine überraschend hohe Beständigkeit aufweisen. Darüber hinaus wird vorteilhafterweise eine hinreichende elektrische Isolierung des Polymerschichtabschnittes des Stromsammlers durch die bevorzugten Materialien erlangt. Einerseits kann vorteilhaft besonders präzise elektrischer Strom am elektrischen Potentialanlegebereich abgegriffen werden. Andererseits ist dies auch aufgrund von Sicherheitsaspekten vorteilhaft, was die bessere Anwendbarkeit der bevorzugten Gasdiffusionselektrode verdeutlicht.

[0059] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass die Porenstruktur des Substrates Poren umfasst mit einem Durchmesser zwischen ca. 100 nm - 50 µm (Nanometer bis Mikrometer), bevorzugt ca. 100 nm - 20 µm, besonders bevorzugt zwischen ca. 100 nm - 10 µm.

[0060] Die bevorzugten Durchmesser der Poren eignen sich vorteilhafterweise dazu, zuverlässig ein Gas durchzulassen (z. B. CO₂), welches beispielsweise reduziert werden kann. Des Weiteren sind die bevorzugten Porendurchmesser dahingehend von Vorteil, dass sie ebenfalls darauf Einfluss nehmen können, dass der Ein-

tritt von Flüssigkeit bzw. Flüssigkeitsanteilen des Elektrolyten verhindert wird. Vorteilhafterweise kann hierdurch eine Flutung und damit ein Selektivitätsverlust der Katalysatorschicht verhindert werden.

[0061] Mit der Selektivität der Katalysatorschicht ist insbesondere gemeint, dass eine bestimmte chemische Reaktion bevorzugt katalysierbar ist, obwohl grundsätzlich mehrere chemische Reaktionen an der Katalysatorschicht ablaufen können. Entweder diese bestimmte Reaktion läuft bevorzugt ab oder es läuft ausschließlich diese Reaktion ab. Ein Selektivitätsverlust bezeichnet somit eine Verringerung der Selektivität.

[0062] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Polytetrafluorethylen (PTFE), Perfluoralkoxylalkan (PFA), Perfluorethylenpropylen (FEP), Polyvinylidenfluorid (PVDF), Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und/oder Polychlortrifluorethylen (PCTFE).

[0063] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Substrat ein Material aus der Gruppe der perfluorierten Polymere (wie z. B. PTFE, PVDF, etc.). In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Substrat ein Material aus der Gruppe der nicht perfluorierten Polymere (wie z. B. PE, PP etc.). In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst das Substrat ein Material aus der Gruppe der perfluorierten Polymere und ein Material aus der Gruppe der nicht perfluorierten Polymere.

[0064] Die genannten bevorzugten Materialien für das Substrat sind insbesondere aufgrund Ihrer Hydrophobie vorteilhaft, sodass Wasser abgewiesen und damit insbesondere der Eintritt von Flüssigkeitsanteilen vom Elektrolyt während einer Elektrolyse verhindert werden kann.

[0065] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat eine Dicke aufweist zwischen 0,1 - 2 mm, bevorzugt zwischen 0,1 - 1 mm, besonders bevorzugt zwischen 0,1 - 0,5 mm.

[0066] Durch die genannten bevorzugten Dicken des Substrates wird es vorteilhaft ermöglicht, die Effekte hinsichtlich einer Abweisung von Wasser sowie der zuverlässigen Einfuhr eines Gases durch die Poren des Substrates zu berücksichtigen. Bei gleicher Porosität ist ein dickeres Substrat weniger durchlässig für Wasser. Um Gas durch die Poren durchlassen zu können, darf das bevorzugte Substrat jedoch nicht zu dick sein. Die genannten Dicken des Substrates erzielen vorteilhafterweise einen Kompromiss zwischen diesen beiden Faktoren, die für die bevorzugte Gasdiffusionselektrode relevant sind.

[0067] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass die Katalysatorschicht Metallpartikel umfasst.

[0068] Vorzugsweise umfasst die Katalysatorschicht ein Material ausgewählt aus einer Gruppe umfassend

Kupfer, Kupferoxid, Silber, Gold, Zinn, Zinnoxid, Zink, Indium, Bismut, Antimon, Palladium, Platin, Ruthenium, Rhodium, Iridium, Rhenium, Titan, Vanadium, Chrom, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zirkonium, Niob, Molybdän, Technetium, Scandium, Yttrium, Aluminium, Kohlenstoff, Stickstoff, Bor, Sauerstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, Silizium, Phosphor, Schwefel, Gallium, Germanium, Arsen, Selen, Tellur, Blei, Hafnium, Tantal, Wolfram, Osmium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und/oder eine Kombination der vorgenannten Materialien.

[0069] Als besonders vorteilhaft haben sich Materialien wie z. B. Kupfer, Silber, Gold, Zink, Indium, Zinn, Bismut, Palladium und/oder Kombinationen dieser Materialien für eine CO₂-Reduktion erwiesen.

[0070] Weiterhin kann es bevorzugt sein, von einem oder mehreren der genannten Materialien oxidierte Spezies zu verwenden, d. h. Oxide von einem oder mehreren der genannten Materialien, z. B. Metalloxide von bevorzugten Metallen, welche erwähnt wurden. Auch kann es bevorzugt sein, Nitride von einem oder mehreren der genannten Materialien für die Katalysatorschicht zu verwenden.

[0071] Vorteilhaft kann eine Vielzahl von Materialien für die Katalysatorschicht verwandt werden, sodass keine Einschränkung auf eine bestimmte Materialklasse gegeben ist.

[0072] Die bevorzugte Ausführungsform, dass die Katalysatorschicht Metallpartikel aufweist, ist besonders vorteilhaft, da sie besonders einfach mit im Stand der Technik bewährten Verfahrenstechnologien bereitstellbar ist und sich als besonders effizient für mögliche Katalysereaktionen erwiesen hat. Des Weiteren lassen sich vorteilhafterweise Metallpartikel großflächig auf das Substrat verteilen, sodass entsprechend auch eine großflächige Katalyse ausgeführt werden kann.

[0073] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass die Katalysatorschicht ein Bindemittel aufweist, wobei bevorzugt das Bindemittel ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Nafion, Sustainion, Polytetrafluorethylen (PTFE) und/oder Polyvinylidenfluorid (PVDF).

[0074] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Katalysatorschicht als Bindemittel ein Material aus einer Gruppe der Ionomere (wie z. B. Nafion und/oder Sustainion). In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das Bindemittel ein rein polymerer Binder (wie z. B. PTFE und/oder PVDF). In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann das Bindemittel ein Material aus der Gruppe der Ionomere und ein Material aus der Gruppe der Polymere umfassen. Das Bindemittel dient vorzugsweise dazu, eine langanhaltende stabile Verbindung zwischen einem Material der Katalysatorschicht und dem Substrat zu ermöglichen. So kann insbesondere durch das bevorzugte Bindemittel eine zuverlässige Bindung von bevorzugten Metallpartikeln an das

Substrat erlangt werden. Die genannten bevorzugten Bindemittel haben insbesondere im Hinblick auf eine feste Anbindung von Metallpartikel auf das Substrat als vorteilhaft erwiesen.

[0075] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass das Bindemittel einen Gewichtsanteil von ca. 1 - 20 %, bevorzugt zwischen ca. 1 - 10 %, ganz besonders bevorzugt zwischen ca. 1 - 5 %, zu den Metallpartikeln aufweist.

[0076] Es war überraschend vorteilhaft, dass die genannten Gewichtsanteile des Bindemittels zu den bevorzugten Metallpartikeln eine hinreichend stabile Verbindung zuließen. Die genannten bevorzugten Gewichtsanteile haben sich dahingehend als überraschend vorteilhaft erwiesen, dass ein Kompromiss zwischen einer hinreichenden elektrischen Leitfähigkeit und der Stabilität hinsichtlich der Anbindung erreicht wurde. Wäre der Gewichtsanteil des Bindemittels zu hoch, käme es zu Einschränkungen der elektrischen Leitfähigkeit. Wäre der Gewichtsanteil des Bindemittels zu niedrig, käme es zu Stabilitätsverlusten. Die genannten bevorzugten Werte des Gewichtsanteils des Bindemittels stellen eine überraschend vorteilhafte Mitte zur Beachtung beider Aspekte dar. Darüber hinaus ist für den Gewichtsanteil des Bindemittels auch die Art bzw. Beschaffenheit der verwendeten Metallpartikel für die Katalysatorschicht relevant.

[0077] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass die Katalysatorschicht ein Additiv aufweist, wobei das Additiv ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend ein zusätzliches Katalysatormaterial, ein Trägermaterial, ein Schutzmaterial und/oder ein Leitfähigkeitsadditiv.

[0078] Das Additiv bezeichnet im erfindungsgemäßen Kontext einen weiteren Zusatzstoff in der Katalysatorschicht, um weitere Effekte erzielen zu können.

[0079] Ein zusätzliches Katalysatormaterial kann vorteilhaft neben dem bereits vorhandenen Katalysatormaterial, wie z. B. den Metallpartikeln, für die Katalyse als solche synergistische Effekte erzielen. Beispielsweise kann die partielle Stromdichte für ein Produkt, insbesondere die Selektivität im Falle der CO₂-Reduktion, unerwartet stark erhöht werden.

[0080] Ein Trägermaterial dient vorzugsweise der vorteilhaften Verteilung der Metallpartikel der Katalysatorschicht. Insbesondere kann durch das Trägermaterial die aktive Oberfläche der genutzten Metallpartikel erhöht werden. Ferner kann durch das Trägermaterial die Stabilität und der Ladungstransport begünstigt werden.

[0081] Ein Schutzmaterial (synonym auch Schutzschicht) bezeichnet vorzugsweise eine zusätzlich aufgebraute Schicht mit einer Schutzwirkung für die Katalysatorschicht. Vorteilhafterweise kann die Aufbringung einer Schutzschicht die Langlebigkeit des zu katalysierenden Materials und den lokalen pH-Wert zugunsten höherer Stromdichten erhöhen. Eine Schutzschicht kann beispielsweise als Material Ionomere wie Nafion, Sustai-

nion usw. und/oder kohlenstoffhaltige Materialien, wie z. B. graphitischer Kohlenstoff (Graphit), Kohlenstoffnanoröhrchen und/oder Graphen aufweisen.

[0082] Ein Leitfähigkeitsadditiv dient insbesondere der Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit. Dies kann besonders dann hilfreich sein, wenn ein Material als zu katalysierendes Material verwandt wird, welches keine hinreichend hohe elektrische Leitfähigkeit aufweist. Ein bekanntes Beispiel für ein Material für das Leitfähigkeitsadditiv ist Kohlenstoff. Ein Leitfähigkeitsadditiv kann beispielsweise auch durch eine Dotierung gegeben sein. Der durchschnittliche Fachmann ist in der Lage, ein geeignetes Leitfähigkeitsadditiv auszusuchen und in die Katalysatorschicht in Abhängigkeit des Anwendungsfalles einzufügen.

[0083] Der Anteil an Binder kann vorzugsweise von Parametern der Katalysatorschicht abhängen. So kann beispielsweise der Anteil der Binder von der Partikelgröße des verwandten Katalysatormaterials und/oder der spezifischen Oberfläche abhängig sein.

[0084] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Gasdiffusionselektrode dadurch gekennzeichnet, dass die Katalysatorschicht eine Dicke aufweist zwischen ca. 0,1 - 100 µm, bevorzugt zwischen ca. 0,1 - 50 µm, besonders bevorzugt zwischen ca. 1 µm - 25 µm, ganz besonders bevorzugt zwischen ca. 1 - 10 µm.

[0085] Vorteilhafterweise können durch die genannten Dicken eine kompakte Gasdiffusionselektrode bereitgestellt werden sowie mit bekannten Methoden des Standes der Technik reproduzierbar auf das Substrat aufgebracht werden.

[0086] In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein System, bevorzugt zur Kohlenstoffdioxid-Reduktion, umfassend eine Elektrolysezelle, wobei die Elektrolysezelle zur Aufnahme eines flüssigen Elektrolyts, bevorzugt auch von einem Gas, beispielsweise gasförmiges Kohlenstoffdioxid, konfiguriert ist, wobei die Elektrolysezelle eine Anode und eine Kathode umfasst, wobei die Kathode eine bevorzugte Gasdiffusionselektrode ist.

[0087] Der durchschnittliche Fachmann erkennt, dass technische Merkmale, Definitionen, Vorteile und bevorzugte Ausführungsformen für die bevorzugte Gasdiffusionselektrode gleichermaßen für das bevorzugte System gelten, und umgekehrt.

[0088] Der grundsätzliche Aufbau einer Elektrolysezelle ist dem durchschnittlichen Fachmann bekannt, so dass dieser an dieser Stelle nicht näher erläutert werden soll.

[0089] Das bevorzugte System kann auch weitere Komponenten aufweisen. So kann es bevorzugt sein, dass das System Endplatten aufweist, sodass die Anode und Kathode mechanisch stabilisiert und darin eingebracht werden können. Weiterhin liegen vorzugsweise Dichtungen vor, um einen unerwünschten Austritt von Flüssigkeiten und/oder Gasen zu vermeiden sowie eine Trennung vom Elektrolyten und Gas-Kompartimenten beizubehalten. Mithin kann eine Dichtung als ein Trenn-

element aufgefasst werden. Weiterhin kann es bevorzugt sein, dass eine Membran zwischen der Anode und Kathode angebracht ist, beispielsweise eine semipermeable Membran, eine Kationentauscher-Membran (z. B. umfassend Nafion), eine Anionentauscher-Membran (z. B. umfassend Sustainion), eine Bipolar-Membran (z. B. umfassend Fumasep) oder ein Diaphragma (z. B. Zirfon).

[0090] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann das System mehrere Elektrolysezellen umfassend eine Anode und Kathode als bevorzugte Gasdiffusionselektrode aufweisen, um beispielsweise eine Reihen- oder Parallelschaltung von mehreren Elektrolysezellen zu erhalten. Insbesondere kann es bevorzugt sein, einen Zellstapel (englisch: stack) bereitzustellen, bei dem typischerweise eine Reihenschaltung vorliegt und relevant für den Betrieb im industriellen Maßstab ist.

[0091] In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung vorzugsweise ein Verfahren zur Herstellung einer bevorzugten Gasdiffusionselektrode umfassend folgende Schritte:

- a) Bereitstellung eines Substrates, welches eine Porenstruktur aufweist und ein elektrisch nicht-leitendes und hydrophobes Material umfasst,
- b) Bereitstellung eines Stromsammlers umfassend eine erste Seite und eine zweite Seite, wobei die erste Seite des Stromsammlers einen Polymerschichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich und die zweite Seite einen elektrischen Kontaktierungsabschnitt aufweist,
- c) Beschichtung des Substrates mit einer Katalysatorschicht,
- d) Beschichtung des Polymerschichtabschnittes des Stromsammlers mit einer Polymerschicht,
- e) Kontaktierung des elektrischen Kontaktierungsabschnittes des Stromsammlers mit der Katalysatorschicht.

[0092] Der durchschnittliche Fachmann erkennt, dass technische Merkmale, Definitionen, Vorteile und bevorzugte Ausführungsformen für die bevorzugte Gasdiffusionselektrode gleichermaßen für das bevorzugte Verfahren zur Herstellung der bevorzugten Gasdiffusionselektrode gelten, und umgekehrt.

[0093] Das bevorzugte Verfahren eignet sich vorteilhafterweise besonders gut, um eine bevorzugte Gasdiffusionselektrode herzustellen. Vorteilhaft kann die bevorzugte Gasdiffusionselektrode mit bewährten Prozessen des Standes der Technik bereitgestellt werden, so dass die Herstellung auch auf Massenproduktionen ausgeweitet werden kann. Hierdurch wird vorteilhaft eine besonders hohe Wirtschaftseffizienz erzielt. Darüber hinaus kann die bevorzugte Gasdiffusionselektrode vorteilhaft auch schnell hergestellt werden. Weiterhin ist es von Vorteil, dass das bevorzugte Herstellungsverfahren besonders sicher für einen Anwender ist, sodass es keine Bedenken hinsichtlich der Sicherheit gibt. Mithin ist das bevorzugte Verfahren vorteilhafterweise besonders an-

wendungsfreundlich.

[0094] Zur Herstellung der bevorzugten Gasdiffusionselektrode wird vorzugsweise ein Substrat bereitgestellt, wobei das Substrat eine Porenstruktur aufweist und ein elektrisch nicht-leitendes und hydrophobes Material umfasst. Zudem erfolgt vorzugsweise eine Bereitstellung eines Stromsammlers umfassend eine erste Seite und eine zweite Seite. Die erste Seite weist einen Polymerschichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich auf. Ebenfalls kann es bevorzugt sein, dass der elektrische Potentialanlegebereich bereitgestellt wird. Die zweite Seite ist der Katalysatorschicht zugewandt.

[0095] Vorzugsweise erfolgt eine Beschichtung des Polymerschichtabschnittes mit einer Polymerschicht. Es kann ebenfalls bevorzugt sein, die zweite Seite des Stromsammlers im Wesentlichen vollständig mit der Polymerschicht zu beschichten und anschließend einen Teil der Polymerschicht zu entfernen, um den elektrischen Potentialanlegebereich bereitzustellen. Weiterhin ist es bevorzugt, dass der Stromsammler im Wesentlichen vollständig mit der Polymerschicht beschichtet und daraufhin am elektrischen Potentialanlegebereich und elektrischen Kontaktierungsabschnitt die Polymerschicht entfernt wird.

[0096] Damit die bevorzugte Gasdiffusionselektrode eine Katalysatorschicht besitzen kann, ist es bevorzugt, das Substrat mit einer Katalysatorschicht zu beschichten.

[0097] Zudem wird vorzugsweise der elektrische Kontaktierungsabschnitt mit der Katalysatorschicht kontaktiert, sodass eine elektrische Kontaktierung zwischen dem Stromsammler und der Katalysatorschicht gegeben ist.

[0098] Würde man die bevorzugte Gasdiffusionselektrode nach der bevorzugten Herstellung von unten betrachten, wäre folgende Reihenfolge der Komponenten und/oder der Schichten erkennbar: Substrat, Katalysatorschicht, elektrischer Kontaktierungsabschnitt des Stromsammlers, da der elektrische Kontaktierungsabschnitt der Katalysatorschicht zugewandt ist, Polymerschicht auf dem Polymerschichtabschnitt der ersten Seite des Stromsammlers.

[0099] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung der Katalysatorschicht auf das Substrat durch ein chemisches Nassverfahren erfolgt, wobei bevorzugt das chemische Nassverfahren ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend Sprühbeschichtung, Tauchbeschichtung, Rotationsbeschichtung, Tintenstrahldruck und/oder Rakeln.

[0100] Im erfindungsgemäßen Sinne bezeichnet ein chemisches Nassverfahren ein Verfahren zur Beschichtung, bei dem das zu beschichtende Material mithilfe eines Materials aufgebracht wird, welches in der flüssigen Phase vorliegt. So kann es beispielsweise bevorzugt sein, dass die bevorzugten Metallpartikel in einer Flüssigkeit dispergiert sind und daraufhin auf das Substrat

beschichtet werden, um die Katalysatorschicht bereitzustellen.

[0101] Die bevorzugten chemischen Nassverfahren umfassend Sprühbeschichtung, Tauchbeschichtung, Rotationsbeschichtung, Tintenstrahldruck und/oder Rakeln haben sich hierfür als besonders nützlich erwiesen. Darüber hinaus können auch weitere chemische Nassverfahren zur Beschichtung der Katalysatorschicht auf das Substrat verwandt werden, ohne auf die bevorzugt genannten chemischen Nassverfahren beschränkt zu sein.

[0102] In weiteren bevorzugten Ausführungsformen können auch andere Verfahren eingesetzt werden, um die Katalysatorschicht auf das Substrat anzubringen. So können beispielsweise Gasabscheidungsverfahren, beispielsweise Verfahren der physikalischen Gasphasenabscheidung (wie z. B. Sputtern) dazu verwandt werden.

[0103] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist das Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung des Polymerschichtabschnittes mit einer Polymerschicht durch ein Pulverbeschichtungsverfahren erfolgt. Auch andere Beschichtungsverfahren können für die Beschichtung der Polymerschicht auf den Stromsammler eingesetzt werden.

[0104] Ein Pulverbeschichtungsverfahren (wird auch als Pulverbeschichten betitelt) bezeichnet ein Beschichtungsverfahren, mit dem der Stromsammler mithilfe eines Pulverlacks beschichtet wird. Dabei kann es bevorzugt sein, dass die erste Seite des Stromsammlers im Wesentlichen vollständig beschichtet wird. Daraufhin kann vorzugsweise der elektrische Potentialanlegebereich und der Polymerschichtabschnitt bereitgestellt werden, indem das beschichtete Polymer an den für den elektrischen Potentialanlegebereich relevanten Stellen entfernt wird.

[0105] Ebenfalls kann es bevorzugt sein, den gesamten Stromsammler, insbesondere die erste und die zweite Seite, im Wesentlichen vollständig mit der Polymerschicht zu beschichten. Daraufhin kann vorzugsweise eine abschnittsweise Entfernung der Polymerschicht erfolgen, sodass die Polymerschicht auf dem Polymerschichtabschnitt verbleibt und der elektrische Potentialanlegebereich bereitgestellt wird. Ferner wird vorzugsweise, nachdem die Polymerschicht auf der ersten und zweiten Seite des Stromsammlers im Wesentlichen vollständig beschichtet wurde, auch eine Entfernung der Polymerschicht an der zweiten Seite vorgenommen, um den elektrischen Kontaktierungsabschnitt bereitzustellen.

[0106] Die Entfernung des beschichteten Polymers zur Bereitstellung des elektrischen Potentialanlegebereiches und der Polymerschicht auf dem Polymerschichtabschnitt kann beispielsweise mechanisch erfolgen (z. B. durch Fräsen oder Kratzen), durch die Wirkung von Wärme und/oder eines Lasers. Die genannten beispielhaften Verfahren, ohne darauf eingeschränkt zu sein, können auch für die Entfernung der Polymerschicht verwandt werden, wenn sie auf der ersten und zweiten Seite

des Stromsammlers beschichtet wurde.

[0107] Ebenfalls kann es bevorzugt sein, die Beschichtung lediglich im Polymerschichtabschnitt auszuführen, sodass mit einem Schritt sowohl die Polymerschicht auf dem Polymerschichtabschnitt als auch der elektrische Potentialanlegebereich bereitgestellt wird.

[0108] Pulverbeschichtungsverfahren lassen sich vorteilhaft auch in Großindustriellen Anwendungen besonders effizient ausführen und sind besonders nützlich für bevorzugte Materialien, wie z. B. PTFE und/oder PEEK, für die Polymerschicht.

[0109] Vorzugsweise umfasst die Bereitstellung des Stromsammlers eine Bereitstellung einer Rohfassung für den Stromsammler. Die Rohfassung meint hierbei eine metallische Struktur ohne Beschichtung, sodass durch die Rohfassung die geometrische Ausgestaltung des Stromsammlers ermöglicht wird. Mit anderen Worten ausgedrückt, meint die Rohfassung für sich genommen den Stromsammler, der keinerlei Beschichtung aufweist. Insbesondere umfasst die Rohfassung auch Stege, sodass durch die Rohfassung auch die Anordnung der Stege vorgegeben werden kann.

[0110] Die Bereitstellung der Rohfassung kann bevorzugt durch Ätzen, Fräsen, Stanzen und/oder Lasern eines metallischen Materials erfolgen. Die bevorzugten Verfahren und/oder Komponenten umfassend Ätzen, Fräsen, Stanzen und/oder Lasern haben sich als besonders gut geeignet erwiesen, um die Rohfassung bereitzustellen. Insbesondere lässt sich vorteilhaft die Anordnung der Stege besonders präzise und schnell bewerkstelligen.

[0111] Die erfindungsgemäßen Aspekte sollen im Folgenden anhand von Figuren näher erläutert werden, ohne auf diese Figuren beschränkt zu sein.

FIGUREN

Kurzbeschreibung der Figuren

[0112]

Fig. 1 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines Stromsammlers

Fig. 2 Schematische Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Stromsammlers

Fig. 3 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Gasdiffusionselektrode

Fig. 4 Schematische Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Gasdiffusionselektrode

Fig. 5 Schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines Systems

- Fig. 6** Messergebnisse für die elektrochemische Performance einer Gitterstruktur als Stromsamm-
ler
- Fig. 7** Messergebnisse für die elektrochemische Performance einer Monopolarplatte als Strom-
samm-
ler
- Fig. 8** Fotos eines Einbaus einer bevorzugten Gas-
diffusionselektrode
- Fig. 9** Fotos einer Monopolarplatte als Stromsamm-
ler

Detaillierte Beschreibung der Figuren

[0113] Fig. 1 stellt schematisch eine bevorzugte Ausführungsform eines Stromsammlers **7** dar. Fig. 1a zeigt die erste Seite des Stromsammlers **7**, während Fig. 1b die zweite Seite des Stromsammlers **7** abbildet. Der Stromsammler **7** in der Fig. 1 ist als Monopolarplatte ausgeführt.

[0114] Vorteilhafterweise kann die Monopolarplatte sowohl einfach skaliert als auch bearbeitet werden. Die einfache Bearbeitung zeigt sich insbesondere in die einfach umsetzbaren Gestaltungsmöglichkeiten für Stege **15**. Durch die Stege **15** wird vorteilhaft ein Flussfeld für den Elektrolyten bereitgestellt, d. h. insbesondere eine Richtungsvorgabe für den Fluss des Elektrolyten ermöglicht. Damit wird durch die Stege **15** der Monopolarplatte ein Weg für den Elektrolyten vorgegeben, durch den der Elektrolyt an der Katalysatorschicht entlang fließen kann. Die Stege **15** der Monopolarplatte liegen in einem mittleren Abschnitt der Monopolarplatte, insbesondere innerhalb in einer Aussparung der Monopolarplatte.

[0115] Ein elektrischer Kontaktierungsabschnitt **13** befindet sich auf der zweiten Seite des Stromsammlers **7** und ist beim Einbau in die bevorzugte Gasdiffusionselektrode einer Katalysatorschicht zugewandt, da der elektrische Kontaktierungsabschnitt **13** für eine elektrische Kontaktierung des Stromsammlers **7** mit der Katalysatorschicht verwandt wird.

[0116] Ferner ist ein elektrischer Potentialanlegebereich **9** dargestellt, der insbesondere auf der ersten Seite des Stromsammlers **7** vorliegt. In der gemäß der Fig. 1 dargestellten Ausführungsform liegt der elektrische Potentialanlegebereich **9** an der ersten Seite und an der zweiten Seite des Stromsammlers **7** vor. Der elektrische Potentialanlegebereich **9** ist hierbei derart strukturiert, dass dieser beispielsweise mit einer elektrischen Klemme für einen Kontakt beidseitig kontaktierbar ist. Der elektrische Potentialanlegebereich **9** ist mit der Polymerschicht nicht beschichtet und ist damit elektrisch kontaktierbar. Mithin kann vorteilhaft ein elektrischer Strom bei einer Elektrolyse am elektrischen Potentialanlegebereich **9** abgegriffen werden.

[0117] Fig. 2 stellt schematisch eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Stromsammlers **7** dar. Fig. 2a zeigt die erste Seite des Stromsammlers **7**, während Fig.

2b die zweite Seite des Stromsammlers **7** abbildet. Der Stromsammler **7** in der Fig. 2 ist als Gitterstruktur (synonym auch Gitterplatte) ausgeführt.

[0118] Eine Gitterstruktur ist insbesondere im Labormaßstab vorteilhaft, da sie kostengünstig bereitgestellt oder erworben werden kann. Der Fachmann erkennt, dass auch die Gitterstruktur als Stromsamm-
ler Stege aufweist (nämlich durch die Strukturen, um die Gitterform zu erhalten), jedoch liegt durch die Stege der Gitterstruktur kein Flussfeld vor. Mithin wird beim Einsatz einer Gitterstruktur als Stromsamm-
ler ein zusätzliches Flussfeld benötigt. Beim Einsatz einer Monopolarplatte als Stromsamm-
ler **7** liegt durch die darin vorhandenen Stege bereits ein Flussfeld für den Elektrolyten vor.

[0119] Der elektrische Potentialanlegebereich **9** ist hierbei ein mit der Polymerschicht unbeschichteter Abschnitt. Ferner kann der elektrische Potentialanlegebereich **9** mit einem Metalltape versehen werden, um einen elektrischen Kontakt zum Stromsamm-
ler **7** zu ermöglichen. Anders ausgedrückt, wird der elektrische Potentialanlegebereich **9**, der zum Stromsamm-
ler **7** gehört, mit dem Metalltape elektrisch kontaktiert.

[0120] Der elektrische Kontaktierungsabschnitt **13** liegt an der zweiten Seite des Stromsammlers **7** vor und dient ebenfalls der elektrischen Kontaktierung mit der Katalysatorschicht einer bevorzugten Gasdiffusionselektrode.

[0121] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform einer Gasdiffusionselektrode **1**. Fig. 3a ist eine Seitenansicht, während Fig. 3b eine Frontalansicht der der Gasdiffusionselektrode **1** zeigt. In der Ausführungsform gemäß der Fig. 3 liegt der Stromsammler **7** als Gitterstruktur vor.

[0122] Die Gasdiffusionselektrode umfasst ein Substrat **3**, eine Katalysatorschicht **5** und den Stromsammler **7**. Das Substrat **3** umfasst ein elektrisch nicht-leitendes und hydrophobes Material und weist eine Porenstruktur auf. Das Substrat **3** dient als Träger für die Katalysatorschicht **5** und den Stromsammler **7**. Dabei ist die Katalysatorschicht **5** auf das Substrat **3** angeordnet. Die erste Seite des Stromsammlers **7** weist einen Polymerschichtabschnitt auf. Weiterhin liegt mindestens an der ersten Seite des Stromsammlers **7** ein elektrischer Potentialanlegebereich **9** vor. Die zweite Seite des Stromsammlers **7** weist den elektrischen Kontaktierungsabschnitt auf, der der Katalysatorschicht **5** zugewandt ist. Durch den Aufbau der Gasdiffusionselektrode **1** wird es ermöglicht, dass ein elektrischer Strom durch die Gasdiffusionselektrode **1** fließbar ist.

[0123] Da der Stromsammler **7** als Gitterstruktur ausgeführt ist, liegt der elektrische Potentialanlegebereich **9** an einer Umrandung des Stromsammlers **7** vor, erlaubt dennoch eine sichere elektrische Kontaktierungsmöglichkeit. Der elektrische Potentialanlegebereich **9** kann auch mit einem Metalltape, wie z. B. ein Kupfertape, aufgebracht werden, um den elektrischen Kontakt zu etablieren.

[0124] Die Gasdiffusionselektrode **1** erzielt eine Viel-

zahl von überraschend vorteilhaften Effekten, die in ihrer Gesamtheit keineswegs zu erwarten und synergistisch waren. So ist der prinzipielle Aufbau der Gasdiffusionselektrode **1** einfach auf größere Dimensionen zu skalieren, sodass eine Überführung in Großanlagen möglich ist. Des Weiteren können vorteilhaft höhere elektrische Stromdichten und damit auch höhere Produktraten erzeugt werden, sodass auch höhere Faradaysche Effizienzen erlangt werden können. Insbesondere tritt vorteilhaft auch das im Stand der Technik beschriebene Flutungsproblem nicht auf, was zum Selektivitätsverlust führen würde. Mithin ist die Katalysatorschicht **5** vorteilhaft langzeitstabil, sodass eine hohe Funktionsbeständigkeit durch die Gasdiffusionselektrode **1** erzielt wird. Darüber hinaus ist die Gasdiffusionselektrode **1** dahingehend vorteilhaft, dass besonders zuverlässig ein effizienter elektrischer Strom bereitgestellt wird.

[0125] Fig. 4 zeigt ebenfalls eine bevorzugte Ausführungsform der Gasdiffusionselektrode **1**, wobei hierbei der Stromsammel **7** als Monopolarplatte ausgeführt ist und nicht wie in der Fig. 3 als Gitterstruktur. Der grundsätzliche Aufbau gemäß der Darstellung der Fig. 4 entspricht jedoch dem der Fig. 3. Fig. 4a zeigt eine Seitenansicht und Fig. 4b eine Frontalansicht der Gasdiffusionselektrode **1**.

[0126] Eine Monopolarplatte als Stromsammel **7** eignet sich besonders gut für die Gasdiffusionselektrode **1**. So ist eine bessere Skalierbarkeit des Stromsammlers **7** und der Gasdiffusionselektrode **1** gegeben. Des Weiteren ist die Monopolarplatte einfach zu verarbeiten, um ein Flussfeld für den Elektrolyten bereitzustellen. Insbesondere ermöglicht die Monopolarplatte durch die Bereitstellung des Flussfeldes aufgrund der Anordnung der Stege einen engen Abstand einer Anode zur Gasdiffusionselektrode als Kathode, sodass auch vorteilhaft die Effizienz gesteigert wird.

[0127] Fig. 5 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines Systems, welches eine Elektrolysezelle **17** aufweist. Die Gasdiffusionselektrode **1** stellt eine Komponente der Elektrolysezelle **17** dar.

[0128] Die Gasdiffusionselektrode **1** umfasst dabei eine Monopolarplatte als Stromsammel **7** und ein Substrat **3**, welches am elektrischen Kontaktierungsabschnitt des Stromsammlers **7** angebracht wird. Das Substrat **3** ist mit der Katalysatorschicht **5** beschichtet, welche in der Fig. 5 jedoch nicht zu erkennen ist. Weiterhin liegen Dichtungen **23** vor, um einen unerwünschten Elektrolytfluss in weitere Komponenten der Elektrolysezelle **17** zu vermeiden. Zudem umfasst die Elektrolysezelle **17** eine Membran **25** die zwischen der Gasdiffusionselektrode **1** und einer Anode **19** angebracht wird. Ferner halten Endplatten **21** die Gasdiffusionselektrode zusammen und führen zu einer Stabilität der Elektrolysezelle **17**.

[0129] Fig. 6 zeigt Messergebnisse für die elektrochemische Umsetzung von CO_2 mit einer Gitterstruktur als Stromsammel.

[0130] In Fig. 6a erfolgte die Umsetzung mit einer Gitterstruktur als Stromsammel ohne eine Polymerschicht.

Die Faradaysche Effizienz (FE) für Wasserstoff, Ethylen, Kohlenstoffmonoxid und Methan ist gegen die angelegte kathodische Stromdichte j aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass Wasserstoff das Hauptprodukt darstellt.

[0131] Fig. 6b zeigt die Ergebnisse für die elektrochemische Umsetzung von CO_2 mit einem Gitter als Stromsammel, das mit einer Polymerschicht beschichtet ist. Die Faradaysche Effizienz (FE) ist gegen die angelegte kathodische Stromdichte j aufgetragen. Im Gegensatz zur unbeschichteten Gitterstruktur bewirkt die Polymerbeschichtung eine Unterdrückung der Wasserstoffproduktion, was u. a. vorteilhafterweise zu einer höheren Faradayschen Effizienz zu Ethylen führt.

[0132] Über den Messergebnissen der Fig. 6a und 6b sind Fotos der Gitterstruktur dargestellt, welche in Fig. 6a unbeschichtet und in Fig. 6b mit einer Polymerschicht beschichtet ist.

[0133] In Fig. 6c wird das Verhältnis zwischen der Faradayschen Effizienz von Ethylen zu Wasserstoff (FE Ethylene/Hydrogen) gegen die kathodische Stromdichte j aufgetragen. Die quadratischen Symbole ("Coated copper grid") stellen dabei die Werte für den beschichteten Gitterstromsammel dar und die runden Symbole ("Uncoated copper grid") die Werte für den unbeschichteten Gitterstromsammel.

[0134] In Fig. 7 werden die Messergebnisse für die elektrochemische Performance einer Monopolarplatte als Stromsammel für die Reduktion von CO_2 dargestellt.

[0135] In Fig. 7a wird die Faradaysche Effizienz (FE) auf der Y-Achse gegen die kathodische Stromdichte j aufgetragen. Dabei ist ersichtlich, dass die Selektivität für die Bildung für Wasserstoff niedrig bleibt und die Bildung von z. B. Ethylen hoch.

[0136] In Fig. 7b ist auf der Y-Achse das Zellpotential ("Cell Potential") gegen die Zeit ("time") aufgetragen. Die dunkle Linie ("TUB monopolar plate design") stellt dabei eine Messung mit der Monopolarplatte als Stromsammel dar und die hellere Linie ("TUB cell side contacting") eine Messung ohne Stromsammel. Es wird dabei das Verhalten bei Anlegen eines Stromes deutlich. Dabei stellt sich das Potential in Gegenwart des Stromsammlers direkt ein, hingegen ohne Stromsammel fällt das Potential erstmal auf einen sehr negativen Wert ab und nähert sich danach langsam einen konstanten Wert an. Das bessere Ansprechen des Potentials beim Anlegen des Stromes macht die bessere elektrische Kontaktierung durch den Stromsammel deutlich.

[0137] In Fig. 7c ist rechts ein Foto der Monopolarplatte als Stromsammel gezeigt. Links ist ein Foto einer bevorzugten Ausführungsform der Gasdiffusionselektrode nach einer Messung gezeigt. Auf der Gasdiffusionselektrode sind dabei die Abdrücke der unbeschichteten Stege zu sehen, die für den elektrischen Kontakt sorgen. Rechts wird ein Foto der Monopolarplatte dargestellt.

[0138] In Fig. 8 werden Fotos von Endplatten gezeigt, in die die Gasdiffusionselektrode eingebaut werden kann.

[0139] In Fig. 8a ist ein Foto einer Endplatte **21** samt

eingebauter Gitterstruktur als Stromsammler **7** dargestellt. Ein Metalltape **27**, hierbei ein Kupfertape (Kupferklebeband) verbindet den elektrischen Potentialanlegebereich **9** des Stromsammlers **7** mit der Endplatte **21**.

[0140] Fig. 8b zeigt die Endplatte 21 ohne die Gasdiffusionselektrode. Man sieht die eingefräste Kavität, um die Gasdiffusionselektrode darin einzuführen.

[0141] In Fig. 9 sind Fotos einer Monopolarplatte abgebildet, die als Stromsammler **7** fungiert.

[0142] Fig. 9a zeigt die erste Seite der Monopolarplatte mit einem parallelen Flussfeld. Fig. 9b zeigt die zweite Seite der Monopolarplatte mit dem parallelen Flussfeld, was durch die Anordnung der Stege **15** erzielt wird. In Fig. 9c ist die erste Seite des Stromsammlers **7** gezeigt, während die Fig. 9d die zweite Seite zeigt. Das Flussfeld der Monopolarplatte gemäß den Fig. 9c und 9d ist serpentinenförmig, was ebenfalls durch die entsprechende Anordnung der Stege **15** bereitstellbar ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0143]

- | | |
|----|--------------------------------------|
| 1 | Gasdiffusionselektrode |
| 3 | Substrat |
| 5 | Katalysatorschicht |
| 7 | Stromsammler |
| 9 | Elektrischer Potentialanlegebereich |
| 11 | Polymerschicht |
| 13 | Elektrischer Kontaktierungsabschnitt |
| 15 | Steg |
| 17 | Elektrolysezelle |
| 19 | Anode |
| 21 | Endplatte |
| 23 | Dichtung |
| 25 | Membran |
| 27 | Metalltape |

LITERATURVERZEICHNIS

[0144]

Dinh, Cao-Thang, et al. "CO2 electroreduction to ethylene via hydroxide-mediated copper catalysis at an abrupt interface." *Science* 360.6390 (2018): 783-787.

Tiwari, Prerna, et al. "Gortex-based gas diffusion electrodes with unprecedented resistance to flooding and leaking." *ACS applied materials & interfaces* 10.33 (2018): 28176-28186.

Patentansprüche

1. Gasdiffusionselektrode (1) für eine Elektrolyse umfassend ein Substrat (3), eine Katalysatorschicht (5) und einen Stromsammler (7), wobei das Substrat (3)

eine Porenstruktur aufweist und ein elektrisch nicht-leitendes und hydrophobes Material umfasst, wobei der Stromsammler (7) eine erste Seite und eine zweite Seite aufweist, sowie das Substrat (3) als Träger für die Katalysatorschicht (5) und den Stromsammler (7) fungiert, wobei die Katalysatorschicht (5) auf das Substrat (3) angeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet, dass

die erste Seite des Stromsammlers (7) einen Polymerschichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich (9) aufweist, wobei auf dem Polymerschichtabschnitt eine Polymerschicht (11) vorliegt und der elektrische Potentialanlegebereich (9) elektrisch kontaktierbar ist und die zweite Seite einen elektrischen Kontaktierungsabschnitt (13) umfasst, wobei der elektrische Kontaktierungsabschnitt (13) der Katalysatorschicht (5) zugewandt ist, sodass ein elektrischer Strom durch die Gasdiffusionselektrode (1) bei der Elektrolyse fließbar ist.

2. Gasdiffusionselektrode (1) nach dem vorherigen Anspruch

dadurch gekennzeichnet, dass

die Elektrolyse eine Reduktion von gasförmigem Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid, Sauerstoff, Stickstoff, Stickstoffdioxid und/oder Stickstoffdioxid umfasst.

3. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

der Stromsammler (7) als eine Monopolarplatte oder eine Gitterstruktur vorliegt, bevorzugt als eine Monopolarplatte.

4. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

der Stromsammler (7) Stege (15) umfasst, wobei die Stege (15) parallel, serpentinenförmig oder gitterförmig angeordnet sind, wobei eine parallele Anordnung der Stege (15) bevorzugt ist.

5. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

der Stromsammler (7) ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Nickel, Titan, Aluminium, Kupfer, Gold, Silber, Edelstahl und/oder Kombinationen der vorgenannten Materialien.

6. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche

dadurch gekennzeichnet, dass

der Stromsammler (7) eine Dicke aufweist zwischen ca. 0,1 - 20 mm, bevorzugt zwischen 0,5 - 10 mm, besonders bevorzugt zwischen 0,5 - 5 mm.

7. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Polymerschicht (11) ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend ein Epoxid, Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyetheretherketon (PEEK) und/oder Polyvinylidenfluorid (PVDF). 5
8. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Porenstruktur des Substrats (3) Poren umfasst mit einem Durchmesser zwischen 100 nm - 50 µm, bevorzugt 100 nm - 20 µm, besonders bevorzugt zwischen 100 nm - 10 µm. 10
9. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
das Substrat (3) ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Polytetrafluorethylen (PTFE), Perfluoralkoxylalkan (PFA), Perfluorethylenpropylen (FEP), Polyvinylidenfluorid (PVDF) und/oder Polychlortrifluorethylen (PCTFE). 20
10. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Katalysatorschicht (5) Metallpartikel umfasst,
wobei bevorzugt die Katalysatorschicht ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Kupfer, Kupferoxid, Silber, Gold, Zinn, Zinnoxid, Zink, Indium, Bismut, Antimon, Palladium, Platin, Ruthenium, Rhodium, Iridium, Rhenium, Titan, Vanadium, Chrom, Mangan, Eisen, Cobalt, Nickel, Zirkonium, Niob, Molybdän, Technetium, Scandium, Yttrium, Aluminium, Kohlenstoff, Stickstoff, Bor, Sauerstoff, Fluor, Chlor, Brom, Iod, Silizium, Phosphor, Schwefel, Gallium, Germanium, Arsen, Selen, Tellur, Blei, Hafnium, Tantal, Wolfram, Osmium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium und/oder eine Kombination der vorgenannten Materialien. 30
11. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Katalysatorschicht (5) ein Bindemittel aufweist,
wobei bevorzugt das Bindemittel ein Material umfasst ausgewählt aus einer Gruppe umfassend Nafion, Sustainion, Polytetrafluorethylen (PTFE) und/oder Polyvinylidenfluorid (PVDF), wobei vorzugsweise das Bindemittel einen Gewichtsanteil von 1 - 20 %, bevorzugt zwischen 1 - 10 %, ganz besonders bevorzugt zwischen 1 - 5 %, zu Metallpartikeln aufweist. 35
12. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Katalysatorschicht (5) ein Additiv aufweist, wobei das Additiv ausgewählt ist aus einer Gruppe umfassend ein zusätzliches Katalysatormaterial, ein Trägermaterial, ein Schutzmaterial und/oder ein Leitfähigkeitsadditiv. 40
13. Gasdiffusionselektrode (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche
dadurch gekennzeichnet, dass
die Katalysatorschicht (5) eine Dicke aufweist zwischen 0,1 - 100 µm, bevorzugt zwischen 0,1 - 50 µm, besonders bevorzugt zwischen 1 µm - 25 µm, ganz besonders bevorzugt zwischen 1 - 10 µm. 45
14. System zur Kohlenstoffdioxid-Reduktion umfassend eine Elektrolysezelle (17), wobei die Elektrolysezelle (17) zur Aufnahme eines flüssigen Elektrolyts, bevorzugt auch von gasförmigen Kohlenstoffdioxid, konfiguriert ist, wobei die Elektrolysezelle eine Anode (19) und eine Kathode umfasst, wobei die Kathode eine Gasdiffusionselektrode (1) ist nach einem oder mehreren der Ansprüche 1-13. 50
15. Verfahren zur Herstellung einer Gasdiffusionselektrode nach einem oder mehreren der Ansprüche 1-13 umfassend folgende Schritte:
a) Bereitstellung eines Substrates (3), welches eine Porenstruktur aufweist und ein elektrisch nicht-leitendes und hydrophobes Material umfasst,
b) Bereitstellung eines Stromsammlers umfassend eine erste Seite und eine zweite Seite, wobei die erste Seite einen Polymerschichtabschnitt und einen elektrischen Potentialanlegebereich aufweist oder der elektrische Potentialanlegebereich bereitgestellt wird und die zweite Seite einen elektrischen Kontaktierungsabschnitt umfasst,
c) Beschichtung des Substrates mit einer Katalysatorschicht,
d) Beschichtung des Polymerschichtabschnittes mit einer Polymerschicht,
e) Kontaktierung des elektrischen Kontaktierungsabschnittes mit der Katalysatorschicht. 55

Fig. 1

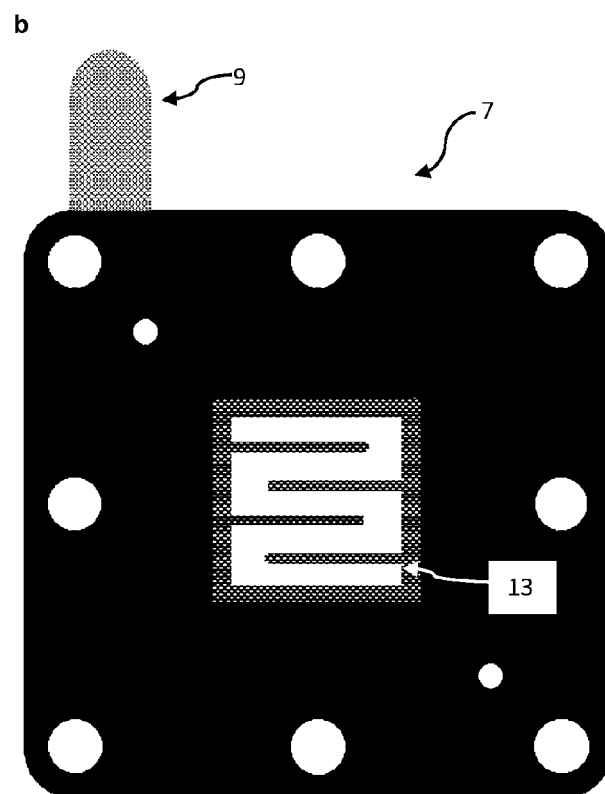
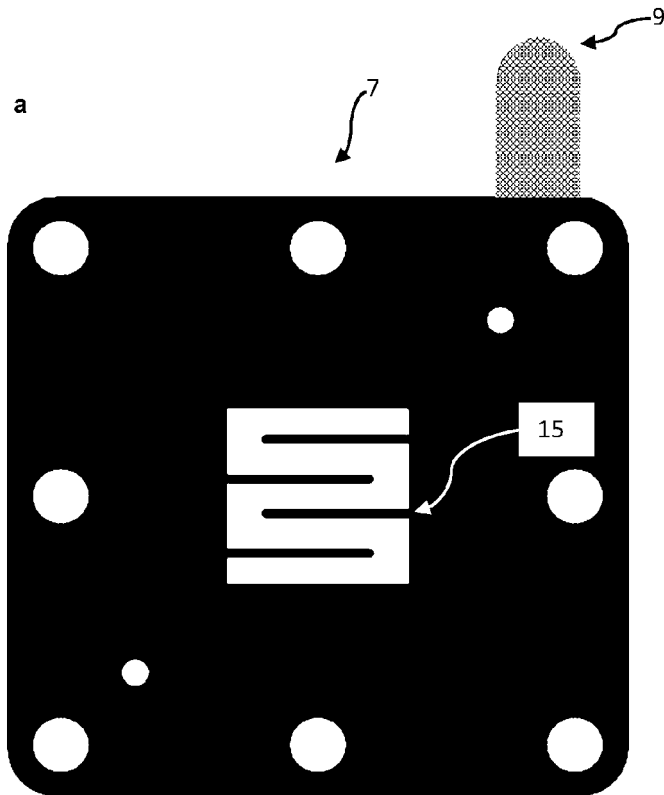


Fig. 2

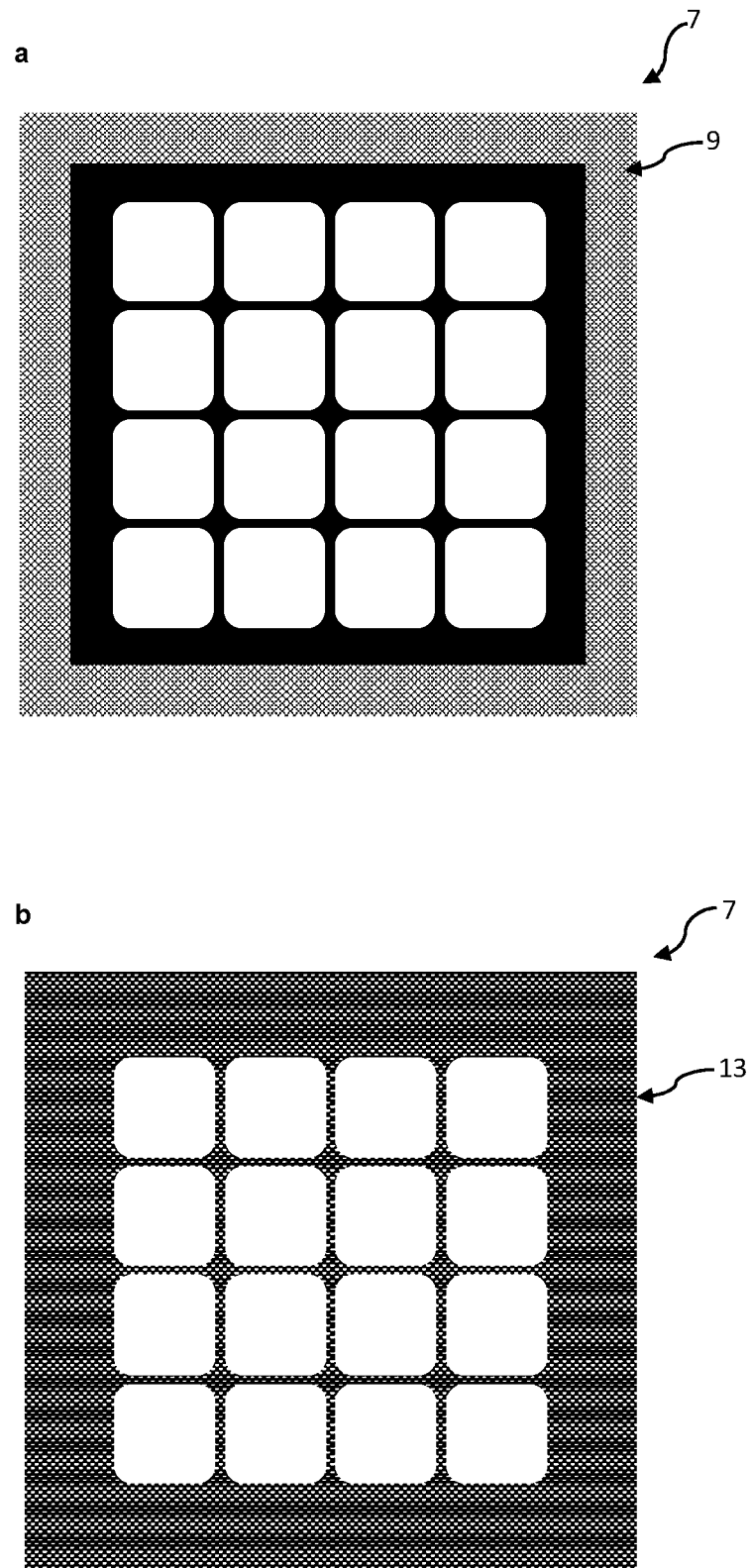


Fig. 3

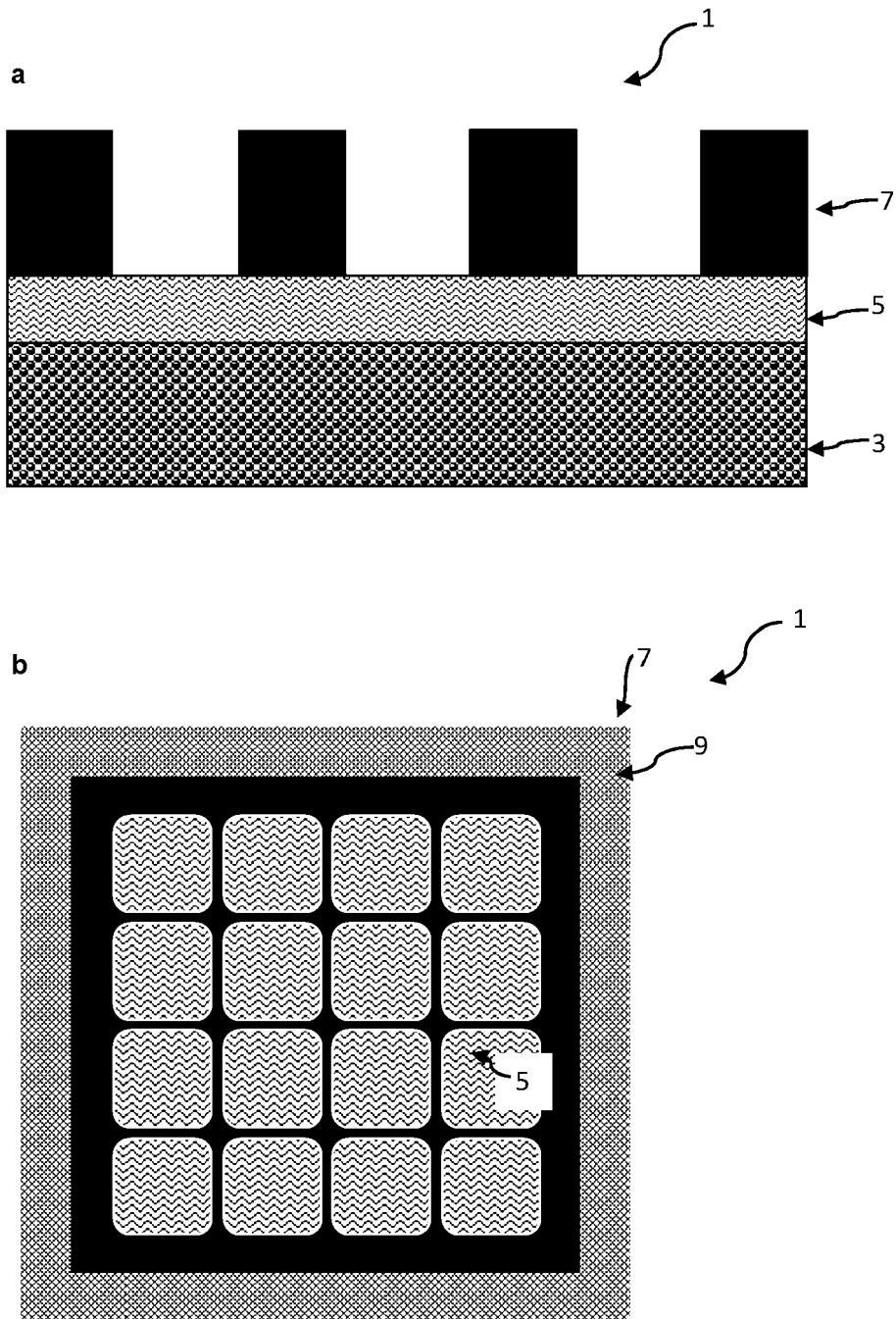


Fig. 4

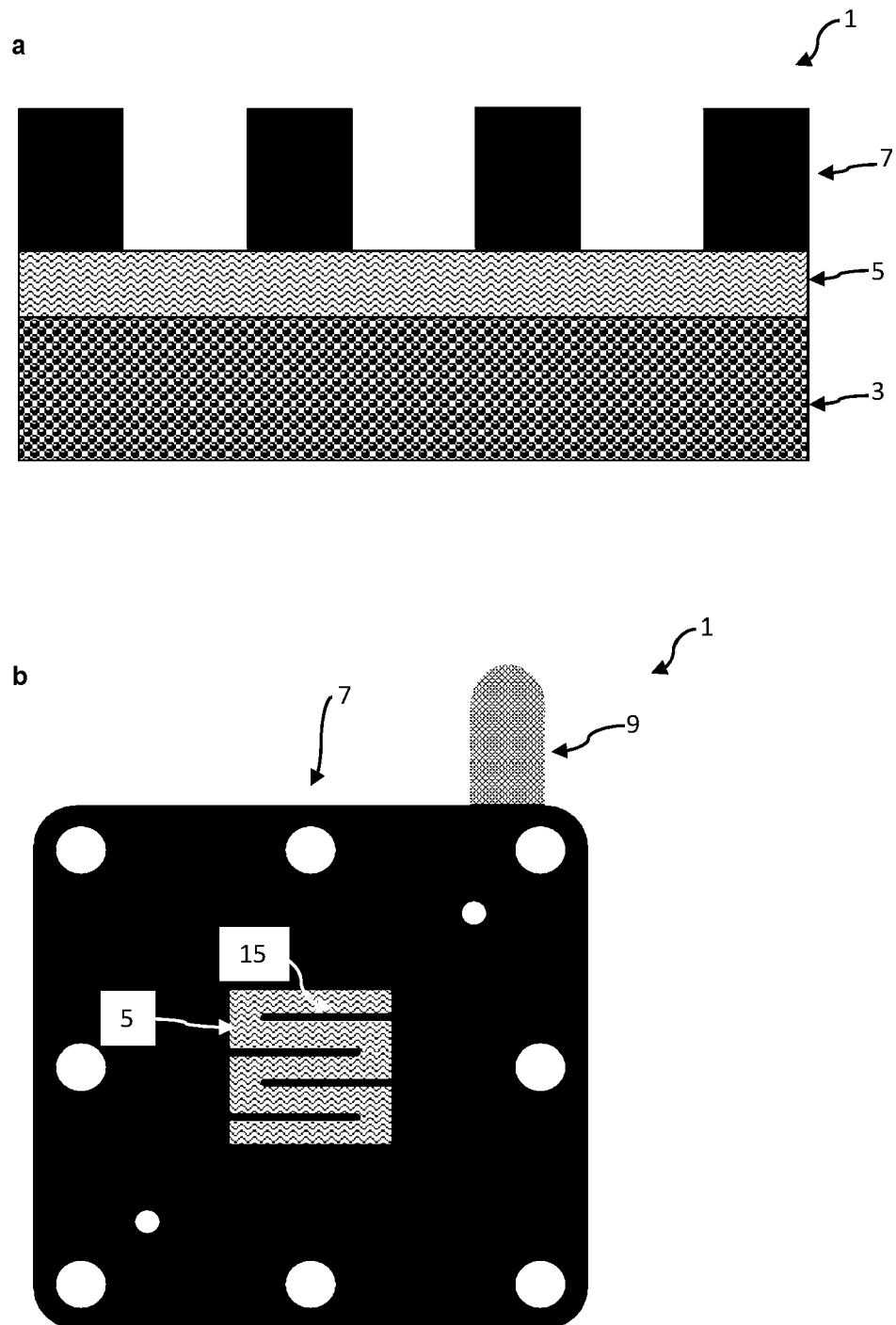


Fig. 5

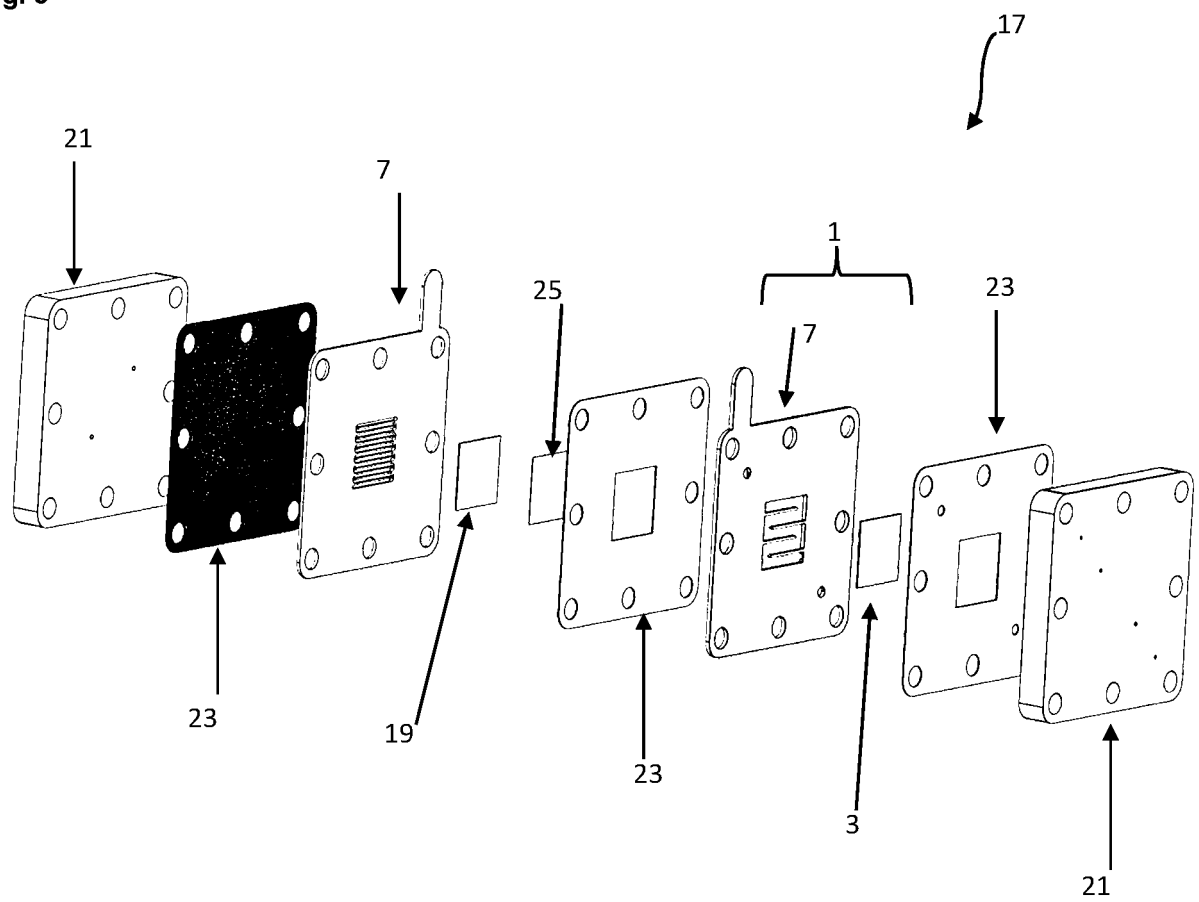
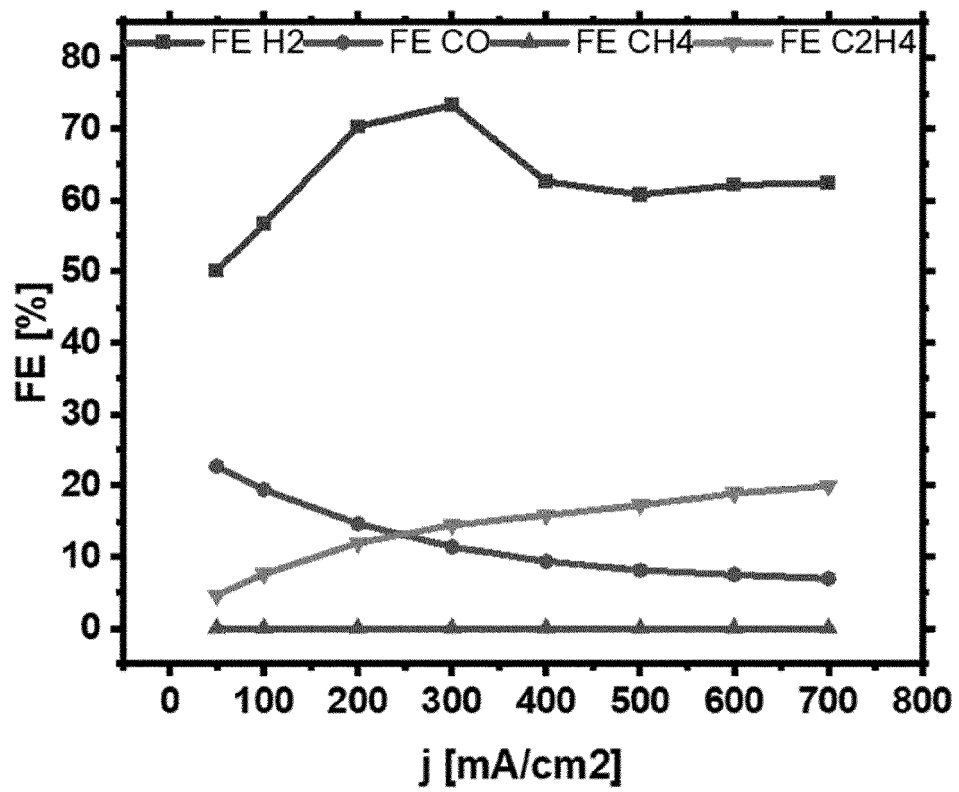
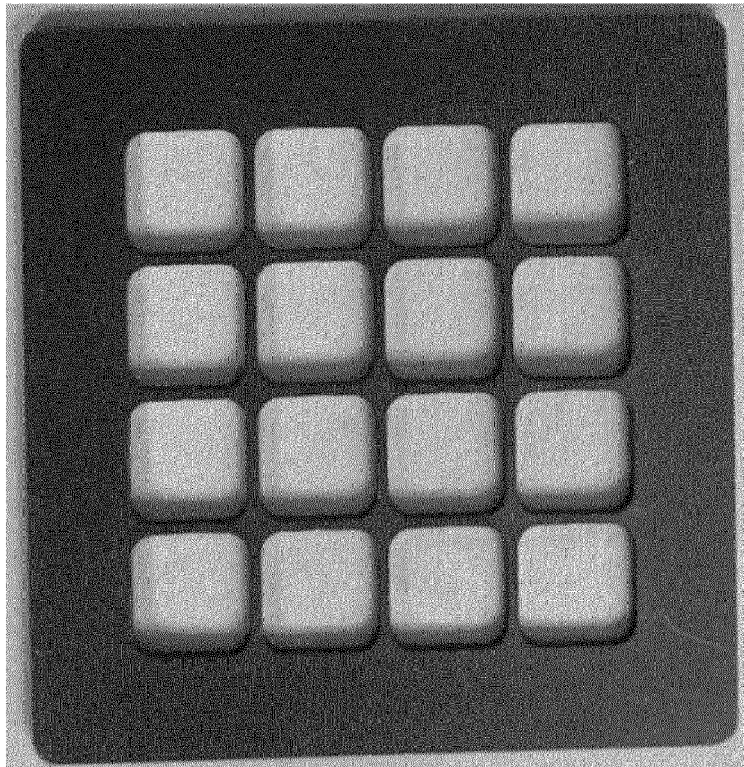
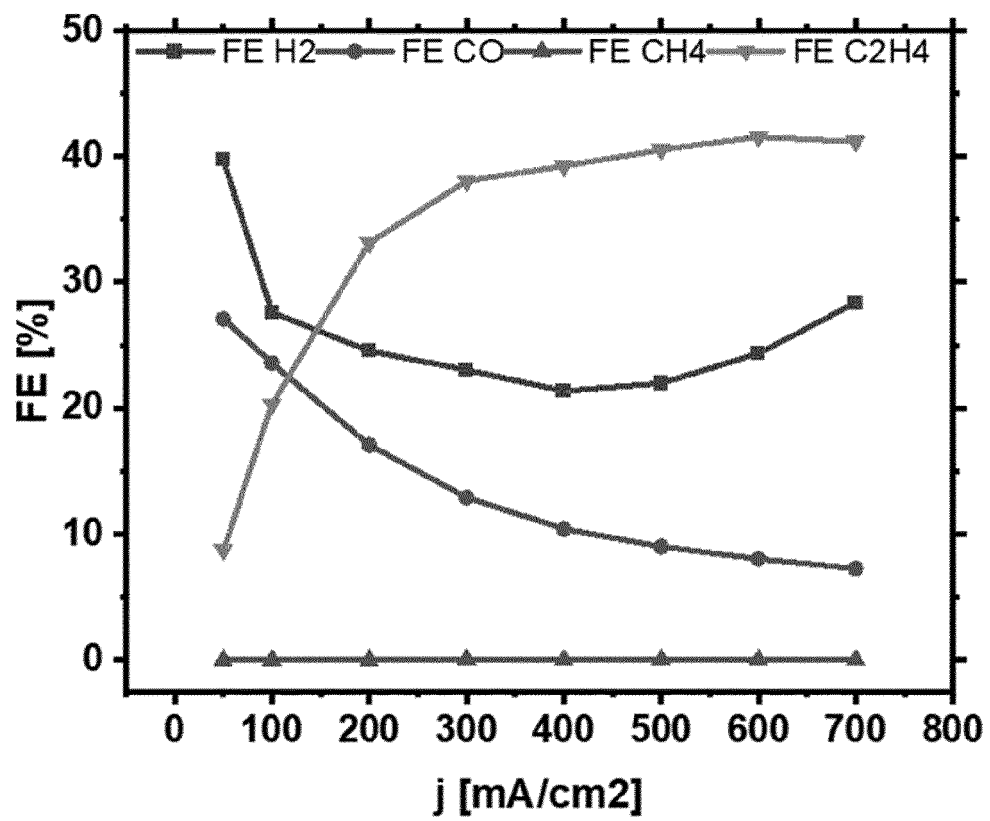
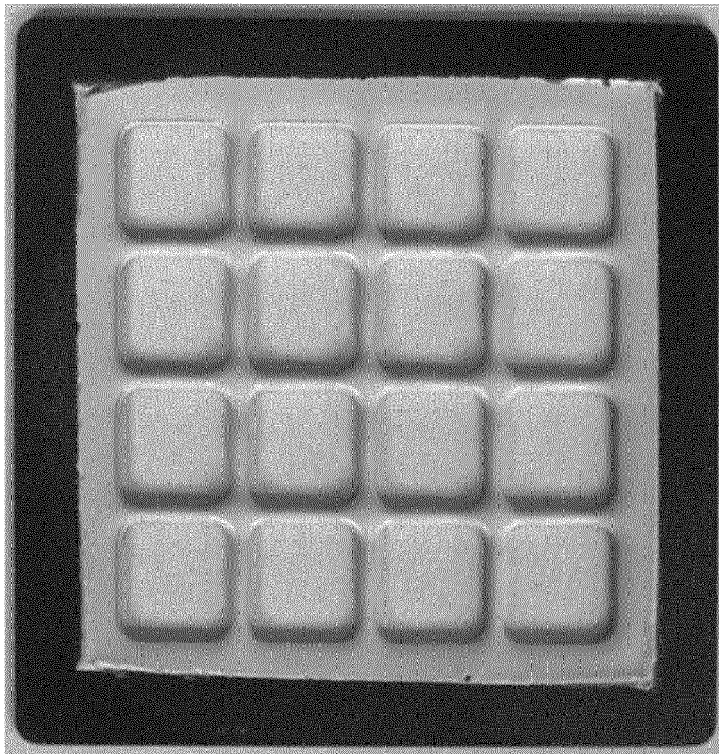


Fig. 6

a



b



c

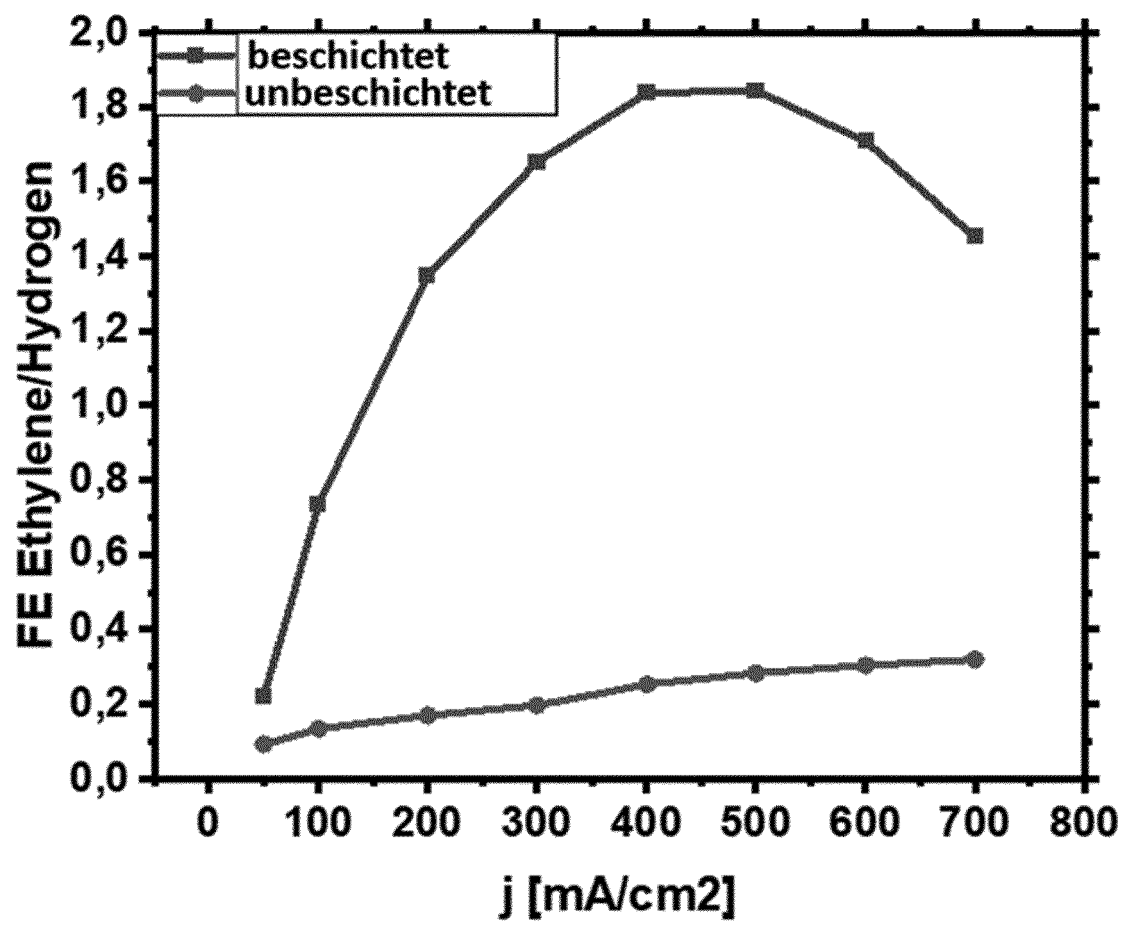
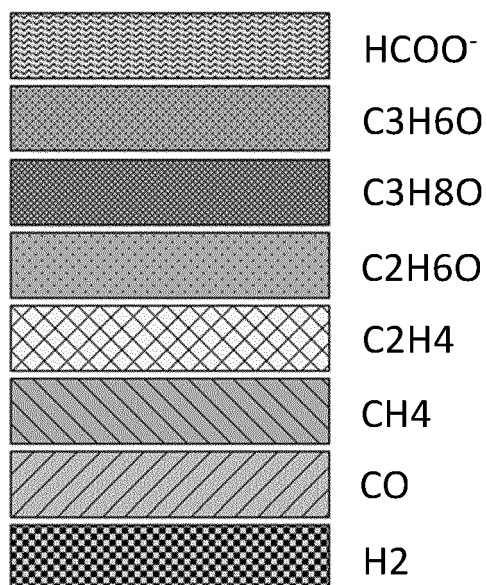
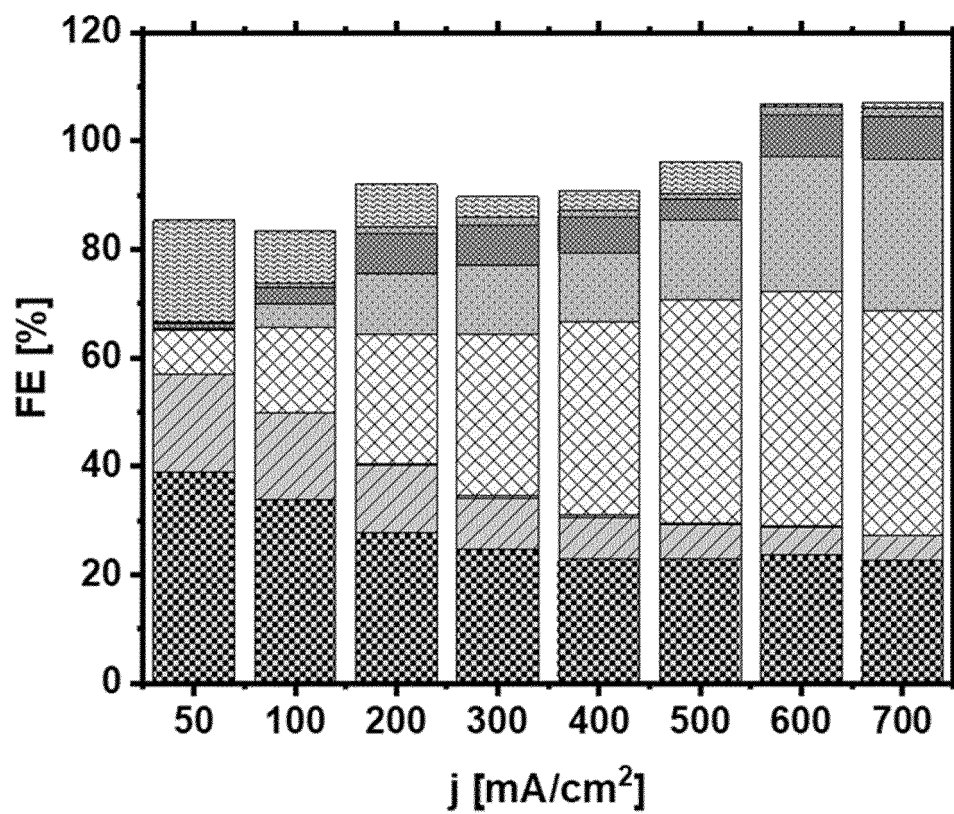
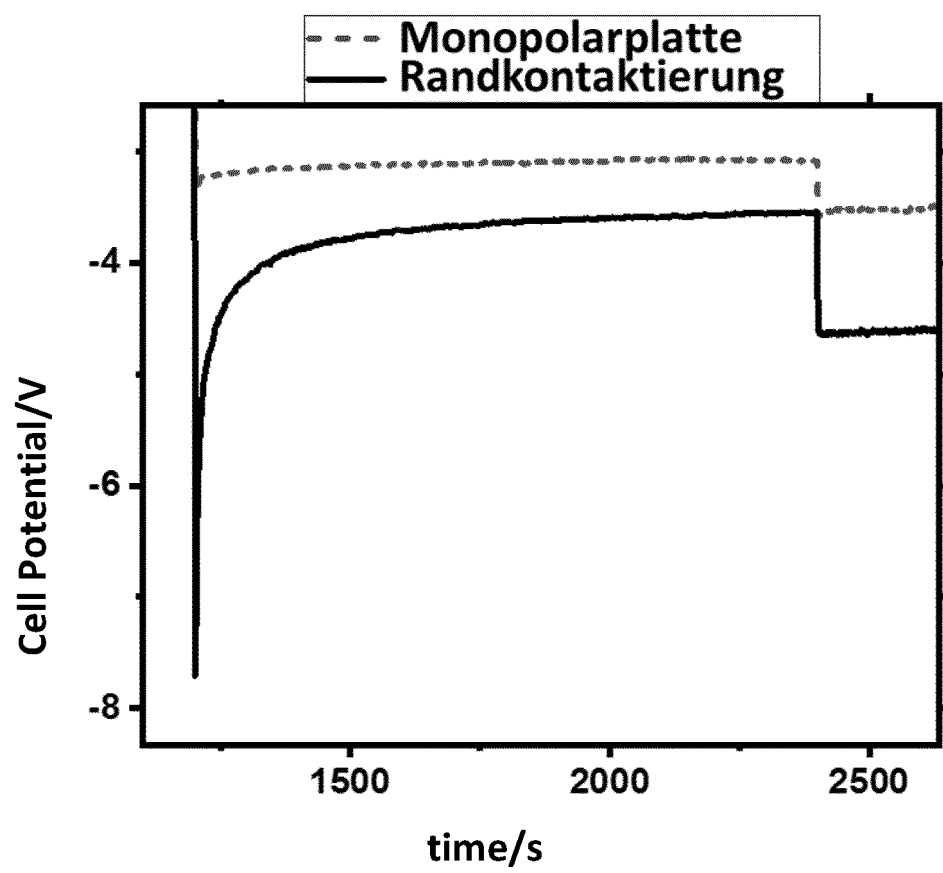


Fig. 7

(a)



(b)



(c)

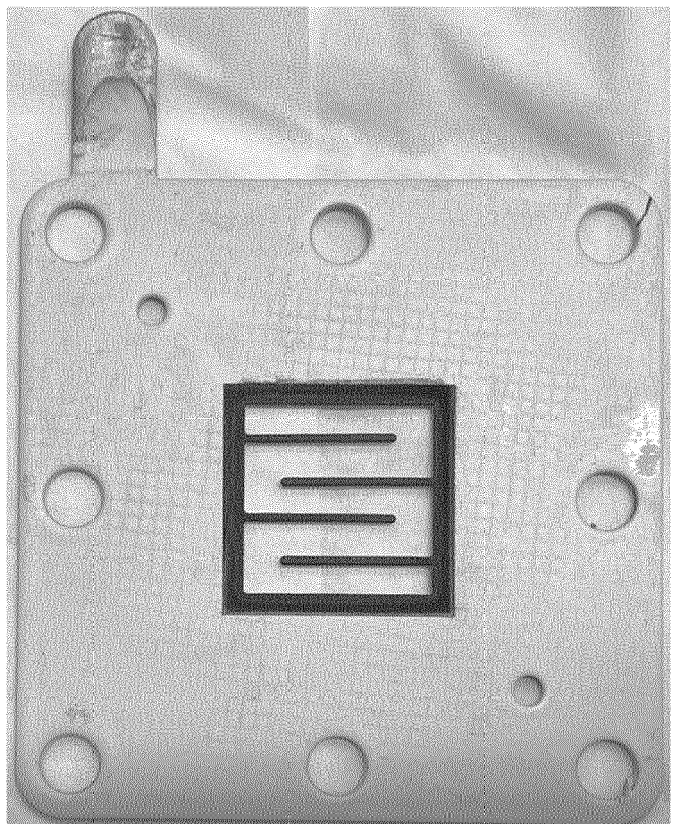
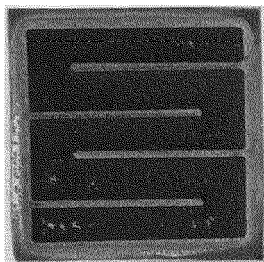
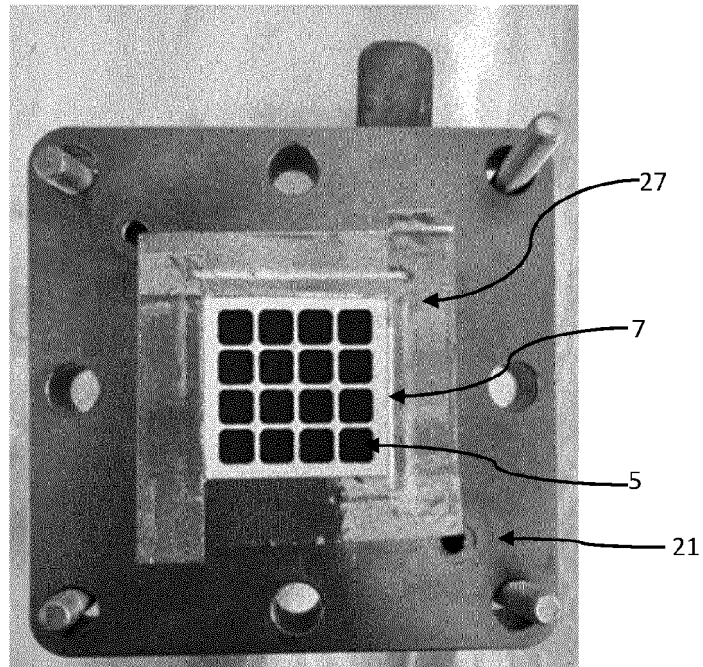


Fig. 8

a



b

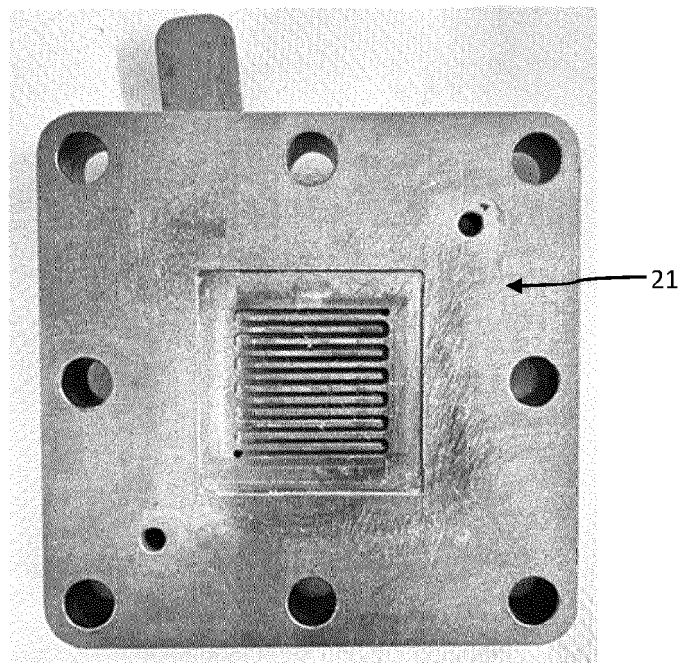
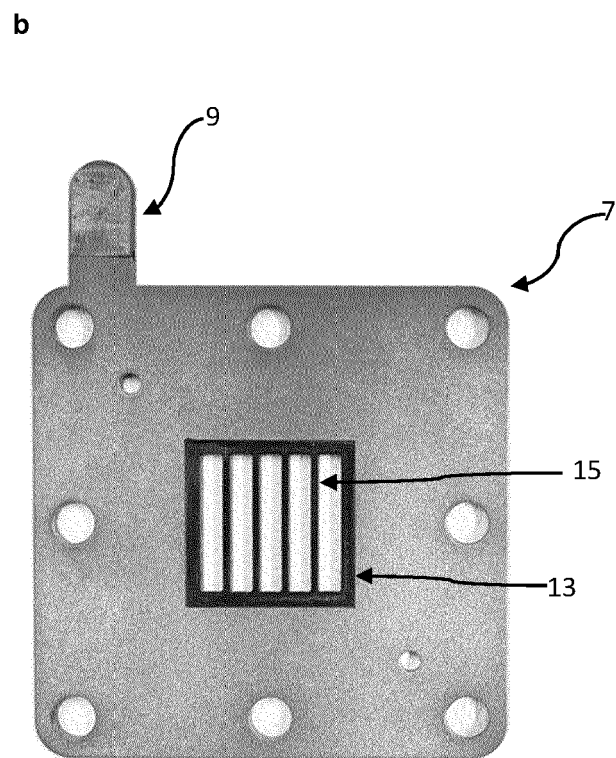
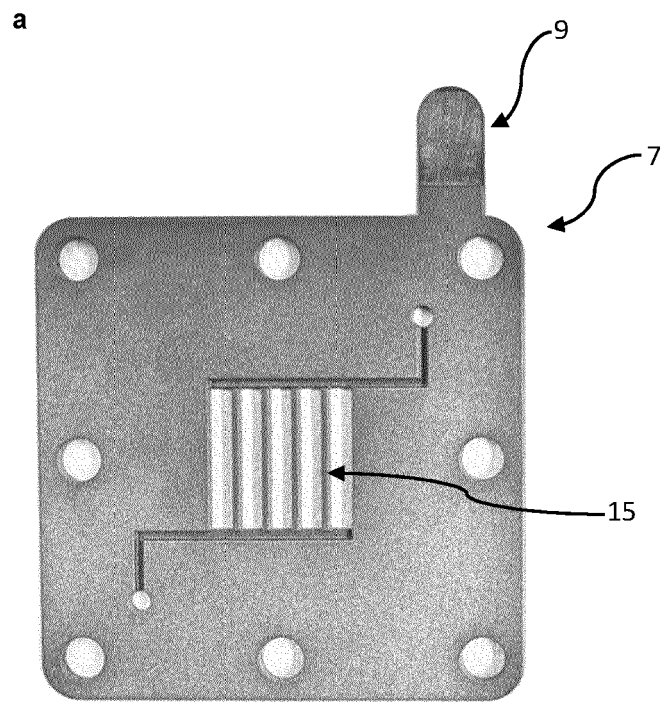
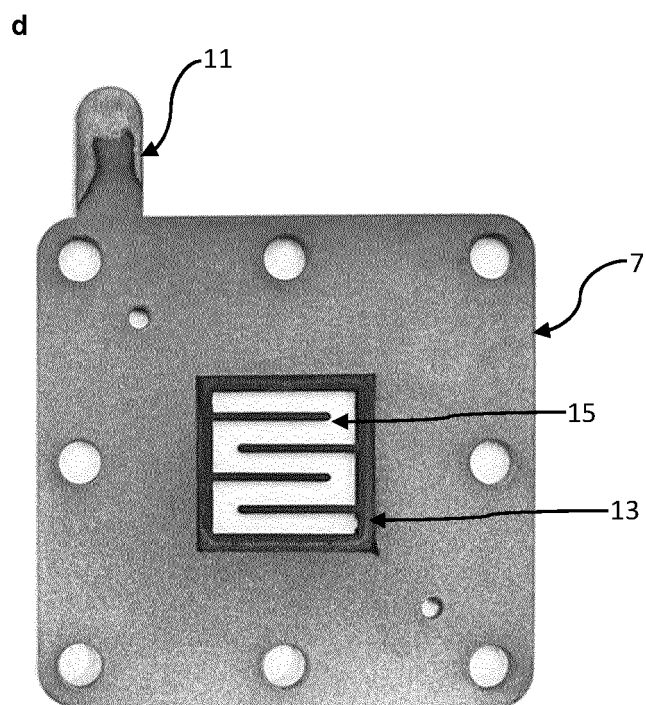
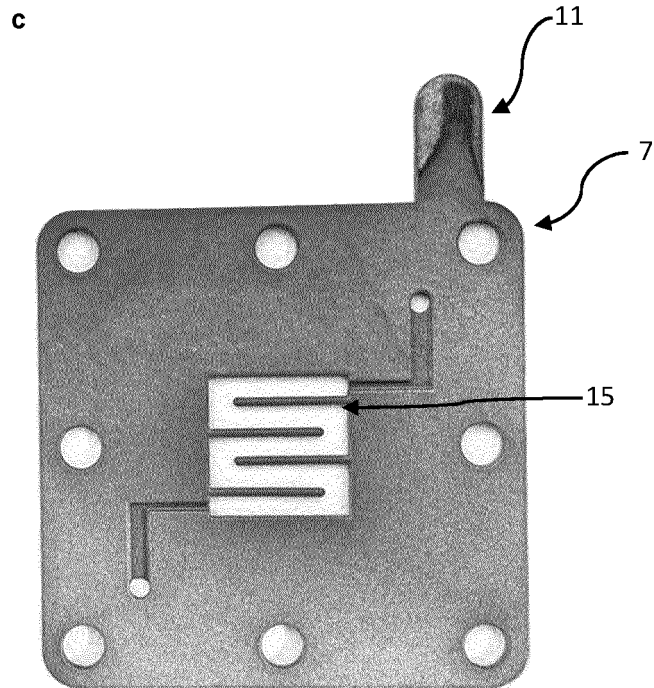


Fig. 9







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 21 1300

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	CN 114 395 773 A (UNIV QINGHUA; UNIV BEIJING) 26. April 2022 (2022-04-26) * das ganze Dokument *	1-15	INV. C25B3/26 C25B9/65 C25B11/032
A	CN 110 453 236 A (GLOBAL ENERGY INTERCONNECTION RES INST CO LTD ET AL.) 15. November 2019 (2019-11-15) * das ganze Dokument *	1-15	
A	EP 3 831 982 A1 (VITO NV [BE]) 9. Juni 2021 (2021-06-09) * das ganze Dokument *	1-15	
A	US 4 354 917 A (SOLOMON FRANK) 19. Oktober 1982 (1982-10-19) * das ganze Dokument *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C25B
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 13. Oktober 2023	Prüfer Ritter, Thomas
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 21 1300

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13-10-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 114395773 A	26-04-2022	KEINE	
CN 110453236 A	15-11-2019	KEINE	
EP 3831982 A1	09-06-2021	CN 114616359 A	10-06-2022
		EP 3831982 A1	09-06-2021
		EP 4069892 A1	12-10-2022
		WO 2021110552 A1	10-06-2021
US 4354917 A	19-10-1982	CA 1173790 A	04-09-1984
		EP 0051437 A1	12-05-1982
		JP S57108282 A	06-07-1982
		US 4354917 A	19-10-1982

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 20210218036 A1 [0008] [0009]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **DINH, CAO-THANG et al.** CO₂ electroreduction to ethylene via hydroxide-mediated copper catalysis at an abrupt interface. *Science*, 2018, 783-787 [0144]
- **TIWARI, PRERNA et al.** Gortex-based gas diffusion electrodes with unprecedented resistance to flooding and leaking. *ACS applied materials & interfaces*, 2018, 28176-28186 [0144]