

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1027/2009
(22) Anmeldetag: 01.07.2009
(43) Veröffentlicht am: 15.07.2011

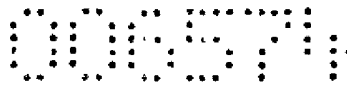
(51) Int. Cl. : **B03C 5/00** (2006.01)
C25B 3/04 (2006.01)

(73) Patentanmelder:
VTU HOLDING GMBH
A-8074 GRAMBACH (AT)

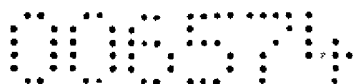
(54) **ELEKTRODENVORRICHTUNG**

(57) Elektrodevorrichtung, umfassend eine Aufgabeelektrode, eine poröse dreidimensionale Elektrode und ein Mittel, das durch Kontakt die elektrische Leitung zwischen der Aufgabeelektrode und der porösen dreidimensionalen Elektrode gewährleistet; eine elektrochemische Zelle enthaltend eine solche Elektrode; die Verwendung einer solchen Elektrode oder Zelle in einem elektrochemischen Verfahren; und Verfahren zur Herstellung chemischer Verbindungen unter Verwendung einer solchen Elektrode.

AT 509 237 A2 2011-07-15

**Zusammenfassung**

Elektrodevorrichtung, umfassend eine Aufabeelektrode, eine poröse dreidimensionale Elektrode und ein Mittel, das durch Kontakt die elektrische Leitung zwischen der Aufabeelektrode und der porösen dreidimensionalen Elektrode gewährleistet; eine elektrochemische Zelle enthaltend eine solche Elektrode; die Verwendung einer solchen Elektrode oder Zelle in einem elektrochemischen Verfahren; und Verfahren zur Herstellung chemischer Verbindungen unter Verwendung einer solchen Elektrode.



Elektrodevorrichtung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Elektrodevorrichtung, die zur Verwendung in elektrochemischen Prozessen geeignet ist.

Elektrochemische Prozesse umfassen elektrochemische Reaktionen, die in einer elektrochemischen Zelle als Redoxreaktionen ablaufen. Für elektrochemische Reaktionen sind Elektroden, nämlich zumindest eine Kathode und zumindest eine Anode, notwendig. Durch Verwendung unterschiedlicher Elektrodenmaterialien und Bedingungen kann eine Reaktion mehr oder weniger effizient durchgeführt werden.

Elektrochemische Prozesse können beispielsweise zur Synthese einer Vielzahl chemischer Verbindungen, z. B. durch Reduktion oder Oxidation geeigneter Ausgangsmaterialien, und zur Wasser- und Abwasseraufbereitung verwendet werden.

Verschiedene elektrochemische Prozesse zur Synthese anorganischer und organischer Verbindungen sind beispielsweise in C.A.C. Sequeira et al, J. Braz. Chem. Soc., Vol. 00, No. 00, p. 1-20 (2009) angegeben. Spezielle Anwendungen umfassen in einem Aspekt die Reduktion von Sauerstoff zu Wasserstoffperoxid in der Wasser- oder Abwasserbehandlung und in einem anderen Aspekt die Reduktion der Aminosäure L-Cystein aus dem dimeren L-Cystin.

Kathodenmaterialien mit einer hohen Fläche-Zeit-Leistung ($\text{kg/m}^2/\text{h}$) haben häufig den Nachteil, dass durch die Verwendung von Quecksilber und Blei als Elektrodenmaterialien das Produkt mit Schwermetallen verunreinigt wird. Andere Materialien sind teilweise gegenüber von Elektroytlösungen, wie HCl-Lösungen, nicht beständig. Bekannte Elektroden, die als Platten ausgeführt sind, haben, insbesondere bei Anforderungen hoher Produktqualität (Umsatz größer als 99%) oft den Nachteil, dass lange Reaktionszeiten (20 bis 30 Stunden) in Kauf genommen werden müssen.

Es wurden auch schon dreidimensionale, poröse Elektroden eingesetzt, die hohe Werte bei der Flächen-Zeit-Leistung aufweisen und die nicht zur Kontamination eines Produktes mit Quecksilber oder Blei führen, wenn sie als poröse Kohlenstoffelektroden oder als poröse Metallelektroden, die nicht Quecksilber oder Blei enthalten, ausgestaltet sind. Das dafür eingesetzte Material wird auch als Schaum (foam) aus Metall (z. B. Kupfer- oder Aluminiumschaum) oder als Carbonschaum (Schaum aus leitenden

Kohlenstoffverbindungen - „Reticulated Vitreous Carbon – RVC“) bezeichnet. Ein solcher dreidimensionaler, poröser Schaum wird manchmal auch als „Schwamm“ bezeichnet.

Beim Einsatz solcher Elektroden sind aber die ausreichende Strom- und Potentialverteilung, insbesondere bei hohen Stromdichten, sowie die richtige Verteilung des Gas-/Flüssigkeitsgemisches im Reaktor nicht einfach zu realisieren. Ausserdem scheint die Frage der passenden Stromaufgabe in die porösen Materialien nicht ausreichend gelöst. Die konstruktive Lösung der Stromaufgabe von der Anschlusselektrode in das poröse Material (z. B. Schaum, Schwamm) und eine geeignete Stromverteilung sind aber von entscheidender Bedeutung.

Zur Lösung der erfindungsgemäß gestellten Aufgabe wird eine Elektrodevorrichtung geschaffen, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie eine Aufgabeelektrode, eine poröse dreidimensionale Elektrode und ein Mittel umfasst, das durch Kontakt die elektrische Leitung zwischen der Aufgabeelektrode und der porösen dreidimensionalen Elektrode gewährleistet.

Es hat sich gezeigt, dass sich mit der erfindungsgemäßen Elektrodevorrichtung elektrochemische Umsetzungen rascher in hoher Ausbeute durchführen lassen. Darüber hinaus lassen sich hohe Stromdichten von 2500 A/m^2 und mehr, z. B. 3000 A/m^2 und mehr, erzielen.

Eine Aufgabeelektrode in einer Elektrode gemäß vorliegender Erfindung umfasst übliche Aufgabeelektroden, z. B. Aufgabeelektroden, wie sie in elektrochemischen Verfahren üblich sind. Übliche Aufgabeelektroden sind im allgemeinen zweidimensional. Die Aufgabeelektrode besteht entweder im wesentlichen aus Metall/Metalloxiden, z.B. umfassend mehrere verschiedene Metalle und umfassend eine Metalllegierung, oder aus leitenden Kunststoffen, oder aus leitenden Kohlenstoffverbindungen, z. B. aus Graphit, Glaskohlenstoff, oder einem leitenden Kohlefaserverbundwerkstoff, bevorzugt aus leitenden Kohlefasern.

Die Verwendung dreidimensionaler, poröser Elektroden aus Metall oder aus Kohlenstoff in elektrochemischen Reaktionen, beispielsweise Metallschaum oder Carbonschaum, ist bekannt. Carbonschaum ist z.B. in Gallego et al, Carbon 41 (2003), p. 1461-1466 beschrieben. Das poröse Material, das gemäß vorliegender Erfindung eingesetzt wird, weist bevorzugt eine hohe Porosität und somit eine hohe spezifische Oberfläche auf.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Elektrodevorrichtung besteht darin, dass als Mittel vorgesehen ist:

- ein elektrisch leitendes und verformbares Material, das zwischen der Aufgabeelektrode und der porösen, dreidimensionalen Elektrode angebracht ist,
- eine Klebeschichte aus leitfähigem Kleber, mit dem die poröse, dreidimensionale Elektrode an die Aufgabeelektrode angeklebt ist, oder
- eine Verschmelzung, Verlötung oder Verschweißung der porösen, dreidimensionalen Elektrode mit der Aufgabeelektrode.

Leitende und verformbare Materialien sind bekannt und schliessen beispielsweise (leitende) verformbare Kohlenstoffolien oder Kohlenstofffilz(e), Metallfolie, verformbare Metallfolien/bleche, wie Kupferfolie/Kupferblech, Aluminiumfolie/Aluminiumblech und Metallwolle, wie Kupferwolle, Aluminiumwolle ein.

„Verformbar“ schliesst plastische und elastische Verformbarkeit ein.

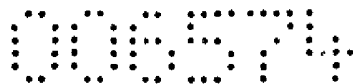
Leitfähige Kleber sind bekannt und schliessen beispielsweise Kleber, Pasten oder Kittmassen aus einer Mischung von Graphit oder Metallen und Phenol-, Epoxid- oder Furanharz ein, die beispielsweise unter dem Handelsnamen Three Bond 3301, käuflich erwerbbar sind.

Eine Verschmelzung, Verlötung oder Verschweißung der porösen, dreidimensionalen Elektrode mit der Aufgabeelektrode kann nach einer bekannten Verschmelzungs-, Verlötungs- oder Verschweißungsmethode erfolgen, beispielsweise durch lokale Erhitzung, Zusammenfügung im erhitzten Zustand und Abkühlung.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Elektrodevorrichtung besteht darin, daß die Aufgabeelektrode aus einer leitenden Kohlenstoffverbindung gebildet ist.

Bevorzugt ist die Aufgabeelektrode eine leitende Kohlenstoffverbindung, an die ein Kohlenstofffilz und daran anschliessend ein Carbonschaum angepresst sind.

Eine ander bevorzugte Elektrodevorrichtung gemäß vorliegender Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Aufgabeelektrode aus Metall oder Metalloxid umfasst, an die eine verformbare Metallfolie, ein verformbares Metallblech, ein Metallfilz oder Metallwolle und daran anschliessend ein Metallschaum angepresst sind.



Die Erfindung betrifft auch eine elektrochemische Zelle, in der die Anode und/oder die Kathode, insbesondere die Kathode, eine erfindungsgemäße Elektrodevorrichtung darstellt.

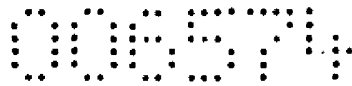
Im Falle, dass die Anode keine Elektrode gemäß vorliegender Erfindung darstellt, ist die Anode bevorzugt eine dimensionsstabile Anode (DSA), die aus einem oder mehreren Metallen, Metalloxiden oder aus beschichteten Metallen oder Metalloxiden, z.B. mit Metalloxid beschichteten Metallen hergestellt und beispielsweise käuflich erwerbbar ist.

Ferner betrifft die Erfindung die Verwendung einer Elektrodevorrichtung oder einer elektrochemischen Zelle in einem elektrochemischen Verfahren, insbesondere zur Synthese chemischer Verbindungen, insbesondere zur Herstellung von L-Cystein aus L-Cystin, oder zur Behandlung von Wasser oder Abwasser.

Darüberhinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines chemischen Endproduktes aus einem chemischen Ausgangsprodukt in einer elektrochemischen Zelle, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Umsetzung des chemischen Ausgangsproduktes an einer erfindungsgemäßen Elektrodevorrichtung in einer erfindungsgemäßen elektrochemischen Zelle erfolgt.

Eine Elektrode, oder eine elektrochemische Zelle gemäß vorliegender Erfindung kann für alle Zwecke, in denen Elektroden einsetzbar sind, verwendet werden, z.B. zur Synthese chemischer Verbindung und zur (Ab)wasseraufbereitung, bevorzugt zur Synthese chemischer Verbindungen, z.B. zur Herstellung von H_2O_2 durch Reduktion von O_2 , Herstellung von Adiponitril durch Elektrohdrodimerisation von Acrylnitril, Elektroreduktion in ionischen Flüssigkeiten, Herstellung von 2-Methylindol, Herstellung von Glyoxylsäure, Herstellung von L-Cystein, z. B. zur Herstellung von L-Cystein aus L-Cystin.

Wird eine elektrochemische Zelle gemäß vorliegender Erfindung zur Synthese chemischer Verbindungen verwendet, befindet sich das Ausgangsprodukt und das Endprodukt entweder im Katholyten oder im Anolyten. In einer speziellen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in einer elektrochemischen Zelle gemäß vorliegender Erfindung der Katholyt vom Anolyt durch eine Membran, in einer besonderen Ausführung eine Ionenaustauschermembran, abgetrennt und in einem solchen Fall weist eine elektrochemische Zelle gemäß vorliegender Erfindung einen Kathodenraum und einen Anodenraum auf. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann eine elektrochemische Zelle gemäß vorliegender Erfindung an einen Katholytbehälter und an



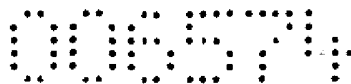
einen Anolytbehälter angeschlossen sein. Der Katholyt kann aus dem Katholytbehälter durch den Kathodenraum der Zelle und wieder zurück in den Katholytbehälter gepumpt werden und der Anolyt aus dem Anolytbehälter durch die Zelle und wieder zurück in den Anolytbehälter, bis der gewünschte Umsetzungsgrad der Ausgangsverbindungen zum Produkt erreicht ist.

Beispielsweise kann das Verfahren zur Herstellung eines chemischen Endproduktes aus einem chemischen Ausgangsprodukt derart ausgeführt werden, dass

- in einer ersten, stromgetriebenen Phase, z. B. bis zu einem Umsatz von ca. 90%, hohe Stromdichten eingesetzt werden, und
- in einer zweiten Phase ein hoher Massen- bzw. Stofftransport stattfindet, wobei ein hoher Massen- bzw. Stofftransport kann z. B. durch gesteigertes Umpumpen des Substrats erfolgen kann.

In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Elektrode gemäß vorliegender Erfindung bei der Umsetzung von L-Cystin zum L-Cystein eingesetzt. Dabei wird als Anode vorzugsweise eine dimensionsstabile Anode (DSA) und als Kathode eine Elektrode gemäß vorliegender Erfindung eingesetzt. Beispielsweise findet bei der Umsetzung von L-Cystin zu L-Cystein als Aufgabeelektrode beispielsweise eine Kupferkathode oder, bevorzugt, eine Graphit-Kathode Verwendung. Die poröse, dreidimensionale Elektrode ist bevorzugt ein Carbonschaum. Im Falle einer Umsetzung von L-Cystin zum L-Cystein ist die Anode bevorzugt eine dimensionsstabile Anode aus beschichtetem Titan, z. B. Iridiumbeschichtetem Titan. Dabei ist der Katholyt durch eine Ionenaustauscher-Membran vom Anolyt getrennt, wobei sich das Ausgangsprodukt und das Endprodukt im Katholyten (Kathodenraum) befindet. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die elektrochemische Zelle an einen Katholytbehälter und an einen Anolytbehälter angeschlossen. Der Katholyt wird aus dem Katholytbehälter durch den Kathodenraum der Zelle und wieder zurück in den Katholytbehälter gepumpt und der Anolyt wird aus dem Anolytbehälter durch die Zelle und wieder zurück in den Anolytbehälter gepumpt, bis der gewünschte Umsetzungsgrad der Ausgangsverbindungen zum Produkt erreicht ist.

Dabei wird das Verfahren vorzugsweise derart durchgeführt, dass in einer ersten stromgetriebenen Phase eine hohe elektrische Stromdichte eingesetzt wird, vorzugsweise bis ein Umsatz von ca. 90% erreicht ist, und in einer zweiten Phase, z.B. ab einem Umsatz von ca. 90%, hoher Massen- bzw. Stofftransport stattfindet, z.B. durch gesteigertes Umpumpen des Substrats.



In einem anderen Aspekt stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von L-Cystein aus L-Cystin in einer elektrochemischen Zelle zur Verfügung, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Umsetzung des L-Cystins an einer Elektrode in einer elektrochemischen Zelle gemäß vorliegender Erfindung erfolgt.

Die elektrochemische Reaktion erfolgt dabei in wässrigem Medium.

Beispielsweise wird dabei das Verfahren derart geführt, dass

- in einer ersten, stromgetriebenen Phase, z. B. bis zu einem Umsatz von ca. 90%, hohe Stromdichten eingesetzt werden, und
- in einer zweiten Phase ein hoher Massen- bzw. Stofftransport stattfindet.

Ein hoher Massen- bzw. Stofftransport kann z. B. durch gesteigertes Umpumpen des Substrats erfolgen.

Durch die zweiteilige Führung des Verfahrens erfolgt der Umsatz in der ersten Phase vorwiegend an der Aufgabeelektrode und der Umsatz in der zweiten Phase vorwiegend an und/oder in der porösen, dreidimensionalen Elektrode, z.B. am und/oder im Carbonschaum.

Das Substrat umfasst dabei eine wässrige Mischung aus Ausgangsprodukt und Endprodukt.

In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Elektrode gemäß vorliegender Erfindung in einer elektrochemischen Zelle begast, um die Konzentration von Gasen zu erhöhen, die für die Umsetzung notwendig sind.

Eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Elektrodevorrichtung ist in der Figur (Fig.) 1 in Form einer Explosionsdarstellung schematisch dargestellt. Die Elektrodevorrichtung 4 besteht aus einer Kohlenfaserplatte 3 als Aufgabeelektrode, an die eine verformbare Kohlenstoffolie 2, z. B. ein Kohlenstofffilz, und daran anschliessend ein Carbonschaum 1 angepresst ist.

In Fig. 4 ist eine Fotografie einer solchen Elektrodevorrichtung gezeigt.

Im nachfolgenden Beispiel wird die Herstellung von L-Cystein aus L-Cystin mittels einer erfindungsgemäßen Elektrodevorrichtung noch näher beschrieben.



Beispiel

Die verwendete erfindungsgemäße elektrochemische Zelle ist in der Fig. 1 schematisch in Form einer Explosionsdarstellung gezeigt.

Die Zelle enthält eine poröse, dreidimensionale Kathode 1, die in einer Platte (Spacer) 4 angebracht ist und die an einer Seite über die Aufgabeelektrode (Kathode) 3 mit einer Abschlussplatte 14 verbunden ist, die einen Einlass 15 und einen Auslass 16 für den Katholyten, der das Ausgangsprodukt und nach Umsatz auch das Endprodukt enthält, aufweist. Zwischen der Aufgabeelektrode 3 und der Abschlussplatte 14 befindet sich eine nicht leitende Zwischenplatte 13. Die Platten 3a und 3b werden zur besseren Abdichtbarkeit der Aufgabeelektrode 3 zwischen der nicht leitenden Zwischenplatte 13 und der Platte 4 eingebaut. Zwischen der Aufgabeelektrode 3 und der porösen, dreidimensionalen Kathode 1 befindet sich ein Kohlenstofffilz 2. Die Zelle umfasst ferner eine Aufgabeelektrode (Anode) 8, die an einer Seite mit einer Platte 7 verbunden ist und auf der anderen Seite mit einer Abschlussplatte 10. Zwischen der Aufgabeelektrode 8 und der Abschlussplatte 10 befindet sich eine nicht leitende Zwischenplatte 9. Die Platten 8a und 8b werden zur besseren Abdichtbarkeit der Aufgabeelektrode 8 zwischen der nicht leitenden Zwischenplatte 9 und der Platte 7 eingebaut. Zwischen den Platten 5 und 7 befindet sich eine Membran 6, die einen Übertritt des Ausgangs- bzw. Endproduktes aus dem Kathodenraum, der sich innerhalb der Platten 4 und 13 befindet in den Anodenraum, der sich innerhalb der Platten 7 und 9 befindet, verhindert. Zwischen der Membran 6 und der Platte 4 befindet sich eine Anstossplatte 5, die die poröse, dreidimensionale Kathode 1 gegen die Aufgabeelektrode 3 presst. In der Platte 10 sind ein Einlass 11 und ein Auslass 12 für den Anolyten angebracht. Durch die Ein- und Auslässe 11, 12, 15 und 16 kann der Katholyt, bzw. der Anolyt mit Hilfe einer Pumpe (nicht gezeigt) umgepumpt werden.

An den Aufgabeelektroden 3 und 8 befindet sich der positive, bzw. negative Stromaufgeber. Alle flüssigkeitsführenden Bereiche sind abgedichtet (nicht gezeigt). Die gesamte Vorrichtung wird durch Spannvorrichtungen, vorzugsweise durch Schraubverbindungen (nicht gezeigt), zusammengehalten.

Die Reduktion von L-Cystin zu L-Cystein erfolgte in wässrigem Medium bei einer Stromdichte von 4000 A/m^2 , wobei als Anode eine dimensionsstabile Anode verwendet wurde. Als Kathode wurde entweder

a) eine Kupferelektrode, die mit einem Bleischwamm überzogen ist, gemäß dem Stand der Technik, oder

b) eine Kohlefaseraufgabeelektrode, die über ein Kohlenstofffilz, an einen Carbonschaum angepresst ist, gemäß vorliegender Erfindung verwendet. Die übrigen Versuchsbedingungen waren identisch.

Es wurde gefunden, dass im Vergleich von konventionellem Bleischwamm mit der Elektrode gemäß vorliegender Erfindung die Produktqualität (Reinheit des erhaltenen L-Cysteins größer als 99%) bei einer Elektrode gemäß vorliegender Erfindung bereits nach 3,5 Stunden erreicht wird, während für die gleiche Produktqualität mit einer Elektrode gemäß dem Stand der Technik 20 Stunden notwendig waren. Die Umsetzung mit einer Elektrode gemäß vorliegender Erfindung erfolgte somit fast 6 Mal so schnell. Siehe dazu Fig. 3:

In Fig. 3 zeigen die ungestrichelten Linien jeweils die Konzentration des L-Cystins: Die Linie, die bei „210“ in der Zeitachse endet stellt die gemessene Konzentration in einem Verfahren mit einer Elektrode gemäß vorliegender Erfindung dar; die ungestrichelte Linie, die bei „1200“ in der Zeitachse endet stellt die gemessene Konzentration in einem Verfahren mit einer Elektrode gemäß dem Stand der Technik dar. Am Endpunkt betrug die Konzentration des Cystins $0,16 \text{ mol/m}^3$, der Umsatz betrug 99,97 %, die dafür benötigte Zeit betrug 3 Stunden, 30 Minuten.

Die gestrichelten Linien stellen jeweils den Umsatz dar. Jene gestrichelte Linie, die bei „210“ in der Zeitachse endet stellt den gemessenen Umsatz in einem Verfahren mit einer Elektrode gemäß vorliegender Erfindung dar. Die gestrichelte Linie, die bei „1200“ in der Zeitachse endet stellt die gemessene Konzentration in einem Verfahren mit einer Elektrode gemäß dem Stand der Technik dar. Am Endpunkt betrug die Konzentration des Cystins $3,41 \text{ mol/m}^3$, der Umsatz betrug 99,5 %, die dafür benötigte Zeit betrug 20 Stunden.

Durch den schnelleren und effizienteren Umsatz mit einer Elektrode gemäß vorliegender Erfindung im Vergleich mit einer Elektrode gemäß dem Stand der Technik kann die gleiche Leistung mit einer Elektrode gemäß vorliegender Erfindung in weitaus kürzerer Zeit erreicht werden, was beträchtliche Zeit- und Energieeinsparungen bedeutet.

Patentansprüche

1. Elektrodevorrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Aufgabeelektrode, eine poröse dreidimensionale Elektrode und ein Mittel umfasst, das durch Kontakt die elektrische Leitung zwischen der Aufgabeelektrode und der porösen dreidimensionalen Elektrode gewährleistet.
2. Elektrodevorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Mittel vorgesehen ist:
 - ein elektrisch leitendes und verformbares Material, das zwischen der Aufgabeelektrode und der porösen, dreidimensionalen Elektrode angebracht ist,
 - eine Klebeschichte aus leitfähigem Kleber, mit dem die poröse, dreidimensionale Elektrode an die Aufgabeelektrode angeklebt ist, oder
 - eine Verschmelzung, Verlötung oder Verschweißung der porösen, dreidimensionalen Elektrode mit der Aufgabeelektrode.
3. Elektrodevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, worin die Aufgabeelektrode aus einer leitenden Kohlenstoffverbindung gebildet ist.
4. Elektrodevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine leitende Kohlenstoffverbindung (3) als Aufgabeelektrode umfaßt, an die eine verformbare Kohlenstofffolie oder ein Kohlenstofffilz (2) und daran anschliessend ein Carbonschaum (1) angepresst sind.
5. Elektrodevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Aufgabeelektrode aus Metall oder Metalloxid umfasst, an die eine verformbare Metallfolie, ein verformbares Metallblech, ein Metallfilz oder Metallwolle und daran anschliessend ein Metallschaum angepresst sind.
6. Elektrochemische Zelle, in der die Anode und/oder die Kathode, eine Elektrodevorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 darstellen.

7. Elektrochemische Zelle nach Anspruch 6, in der die Kathode eine Elektrodevorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 darstellt.
8. Elektrochemische Zelle nach einem der Ansprüche 6 oder 7, in der die Anode eine dimensionsstabile Anode darstellt.
9. Verwendung einer Elektrodevorrichtung oder einer elektrochemischen Zelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8 in einem elektrochemischen Verfahren, insbesondere zur Synthese chemischer Verbindungen oder zur Behandlung von Wasser oder Abwasser.
10. Verwendung nach Anspruch 9 zur Herstellung von L-Cystein aus L-Cystin.
11. Verfahren zur Herstellung eines chemischen Endproduktes aus einem chemischen Ausgangsprodukt in einer elektrochemischen Zelle, dadurch gekennzeichnet, dass die Umsetzung des chemischen Ausgangsproduktes an einer Elektrodevorrichtung in einer elektrochemischen Zelle nach einem der Ansprüche 6 bis 8 erfolgt.

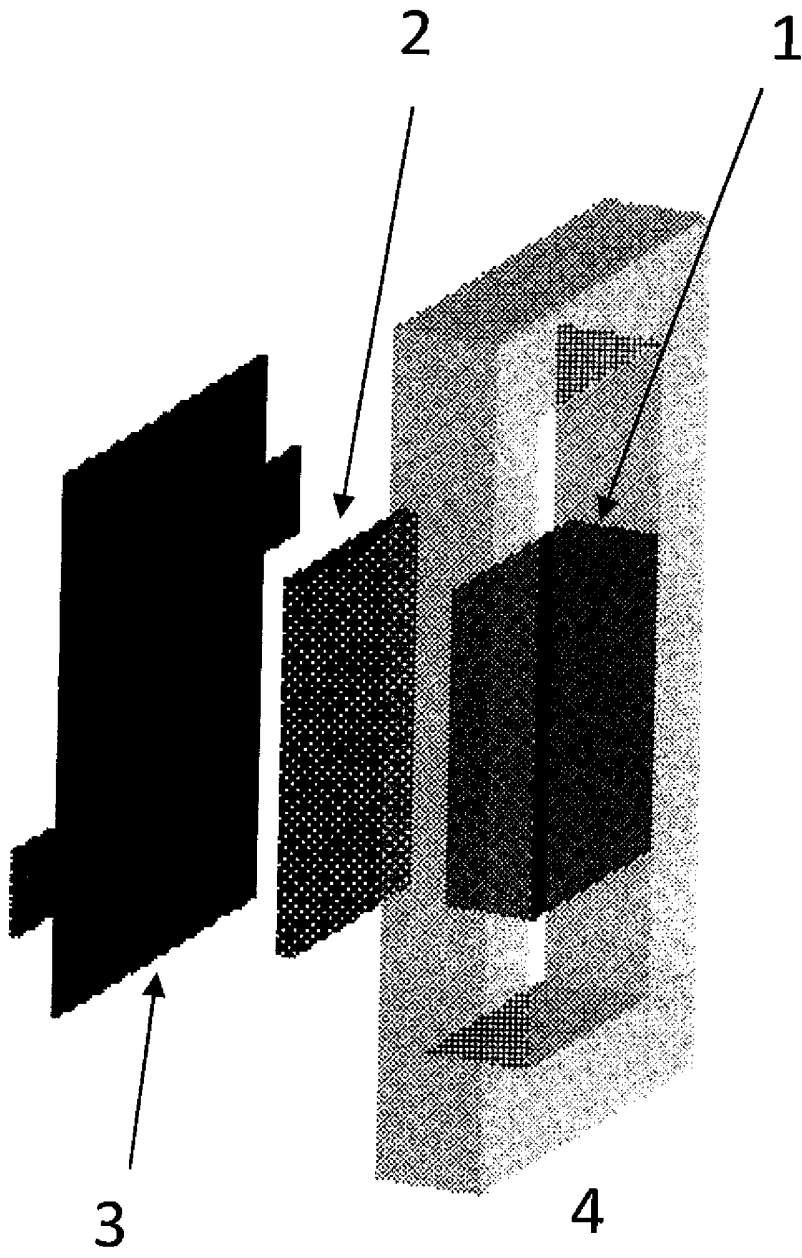


Fig. 1

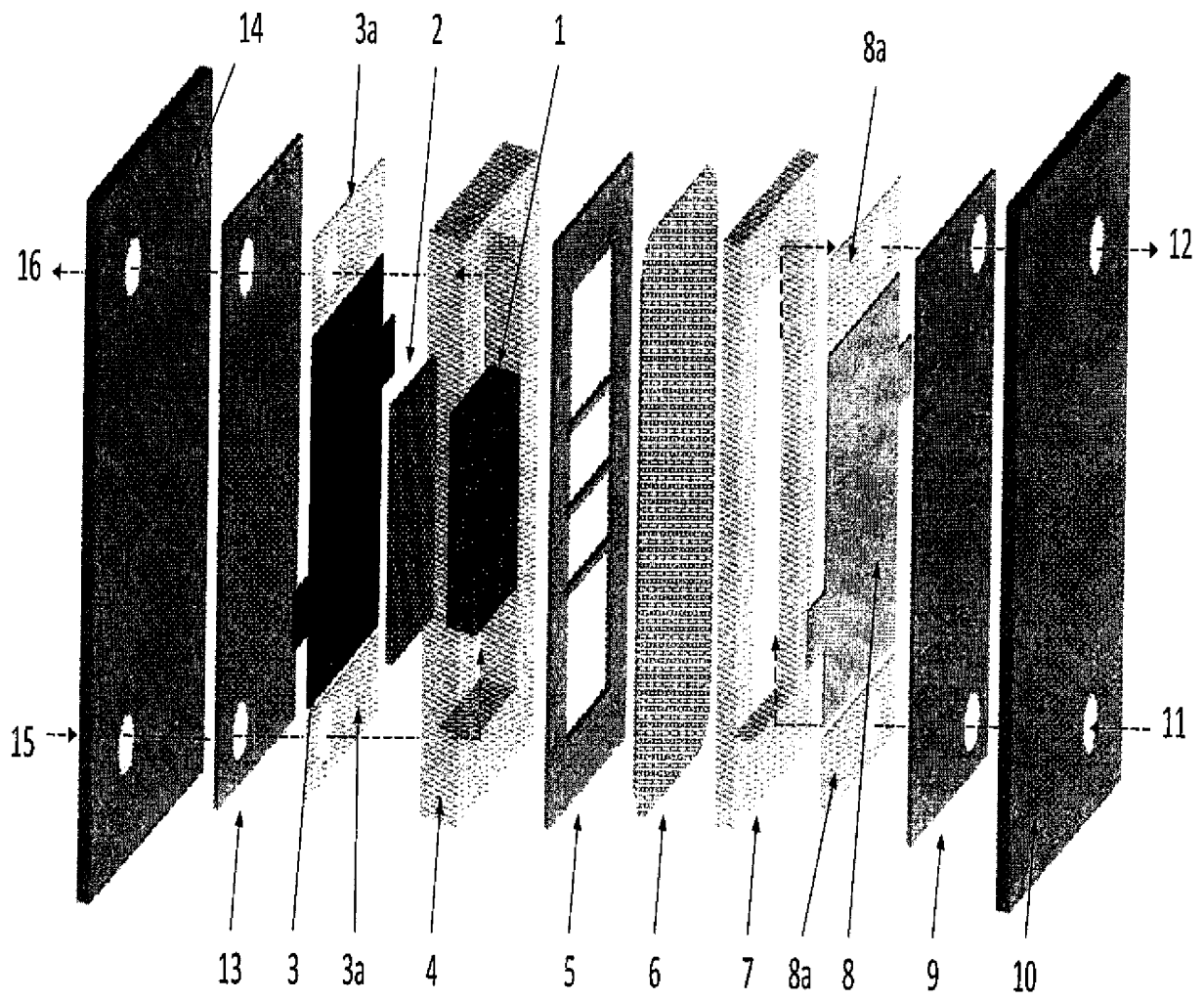
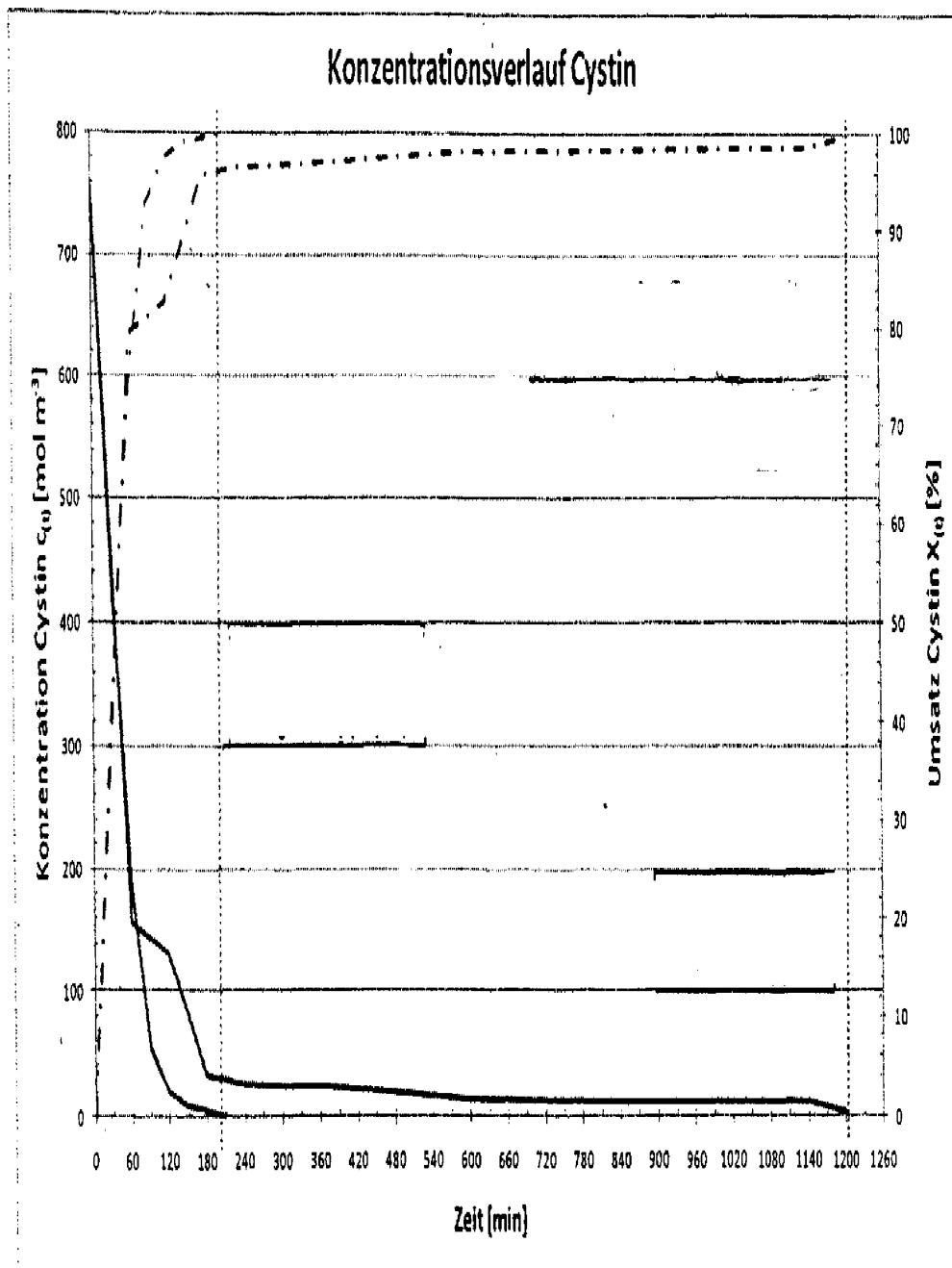


Fig. 2

3/4



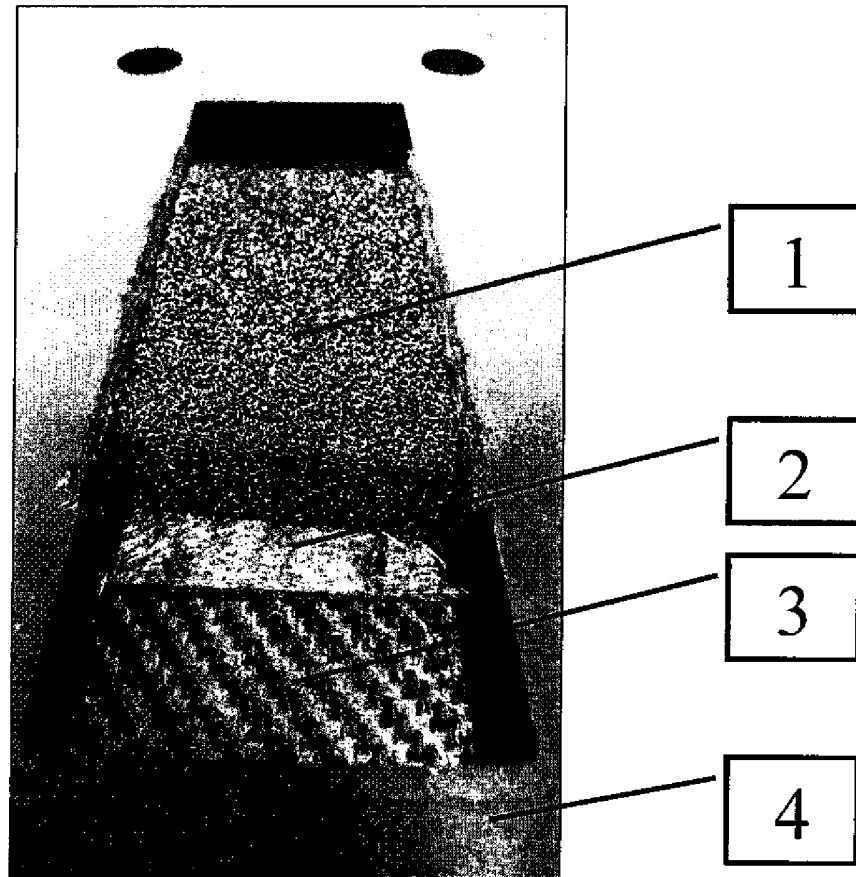


Fig. 4