

Urkunde

über die Eintragung des
Gebrauchsmusters Nr. 20 2022 100 776

Bezeichnung:

Ein System zur Herstellung von nickel-dotierten SnO₂-Dünnschichten für die photoelektrochemische Wasserstofferzeugung

IPC:

B05C 11/08

Inhaber/Inhaberin:

Almohammedi, Abdullah, Al-Madinah, Al-Munawarah, SA
El Sayed, Adel M., El-Fayoum, EG
Saad, Rana, Beni-Suef, EG
Shaban, Mohamed, Al-Madinah, Al-Munawarah, SA

Tag der Anmeldung:

10.02.2022

Tag der Eintragung:

16.02.2022

Die Präsidentin des Deutschen Patent- und Markenamts



Cornelia Rudloff-Schäffer

München, 16.02.2022



EIN SYSTEM ZUR HERSTELLUNG VON NICKEL-DOTIERTEN SnO₂- DÜNNSCHICHTEN FÜR DIE PHOTOELEKTROCHEMISCHE WASSERSTOFFERZEUGUNG

BEREICH DER ERFINDUNG

Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf ein System zur Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten. Im Einzelnen erleichtert das System die Verbesserung der Struktur, der optischen sowie der photoelektrochemischen Charakterisierung von SnO₂:Ni,Ir-Filmen, um ihre Fähigkeit zur Erzeugung von Wasserstoff zu verbessern.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Die photoelektrochemische Wasserspaltung (PEC-WS) und der Prozess der Wasserstoffherzeugung mit unbegrenzter Sonnenenergie finden weltweit immer mehr Beachtung. Wasserstoff wird in verschiedenen Bereichen wie Raketentreibstoff, Fahrzeugtreibstoff und Raffination von Erdölprodukten in großem Umfang genutzt. Der Grund dafür ist, dass er keine CO₂-Emissionen verursacht, eine geringe Dichte hat, eine hohe Energiedichte aufweist, umweltfreundlich ist, sich erneuern lässt und speicherbar ist. Diese Technik erfordert eine großflächige Photoelektrode und ein kostengünstiges, chemisch stabiles Material mit hoher Absorption für das Sonnenlicht und einer geeigneten Bandlücke.

Neben der großen Menge, der einfachen Herstellung, der chemischen Stabilität in einem breiten pH-Bereich und der Umweltverträglichkeit ist SnO₂ ein Halbleitermaterial, das eine direkte Bandlücke (E_g) von 3.6 eV mit einer hohen Exzitonen-Bindungsenergie bei Raumtemperatur (RT) aufweist. Es weist eine Elektronenbeweglichkeit in der Größenordnung von 240 cm² V⁻¹ S⁻¹, eine hohe Transparenz im

sichtbaren Bereich, einen geringen Widerstand und ein hohes Reflexionsvermögen für infrarotes Licht auf. Die Eigenschaften dieses Oxids machen es ideal für die Optoelektronik, Solarzellen, Gassensoren, Katalyse und Dünnschichttransistoren (TFTs). Sn^{4+} ($4d^{10}5s^0$) wird vorgeschlagen, In^{3+} in Dünnschichttransistoren zu ersetzen, um die hohen Kosten für die Herstellung der Geräte zu vermeiden. Andererseits schränken trotz der vielen Vorteile von SnO_2 sein breites Eg und seine geringe Oberfläche seine Verwendung in industriellen Anwendungen wie der Wasserstoffherzeugung ein.

Für die Herstellung von dotierten und reinen SnO_2 -Filmen und -Nanopulvern wurden verschiedene physikalische und chemische Verfahren beschrieben. Sb-dotierte SnO_2 -Filme wurden durch Tauchbeschichtung und Sprühpyrolyse für den möglichen Einsatz in optoelektronischen Anwendungen und zur Erzeugung von Fotostrom synthetisiert. Die durch eine hydrothermale Methode hergestellten SnO_2 /Graphen-Folien zeigten eine photokatalytische Aktivität bei der Entfernung von Farbstoffen, und dieser Verbundstoff eignet sich als Elektrode für Superkondensatoren. Forscher synthetisierten einheitliche SnO_2 -Filme mit Nanogras-Struktur und SnO_2 / BiVO_4 -Kern-Schalen-Strukturen durch einen Dampf-Feststoff-Abscheidungsprozess, um eine hohe photoelektrochemische Effizienz zu erzielen. Darüber hinaus stellte ein Forscher SnO_2 -g- C_3N_4 -Nanostrukturen für die Farbstoffentfernung und Abwasserbehandlung auf hydrothermale Wege her.

Unter den verwendeten Elementen stellen die Übergangsmetalle eine faszinierende Klasse von Materialien als Dotierstoffe dar. Die Dotierung mit Co verbessert die Wasserstoffgas-Sensoreigenschaften der spinbeschichteten SnO_2 -Filme. Die Dotierung mit Cr wird verwendet, um die linearen und nichtlinearen optischen Parameter der aufgespritzten SnO_2 -Filme abzustimmen. Darüber hinaus bewirkt die Dotierung von SnO_2 -Filmen mit Fe (5-20%) den Übergang der Leitfähigkeit von SnO_2 vom n- zum p-Typ und induziert einen guten gleichrichtenden Charakter

für SnO₂-Homoübergänge. Es wurde berichtet, dass die Ni-Dotierung eine größere Anzahl von Defekten und Sauerstofflücken hervorruft, was zu einem RT-ferromagnetischen Charakter für die mitgefällten SnO₂-Nanopartikel (NPs) führt. Außerdem wird das Ni-dotierte SnO₂ ausgiebig für Gassensorenwendungen untersucht.

In Anbetracht der vorstehenden Ausführungen wird deutlich, dass ein System für die Synthese von nickeldotierten SnO₂-Schichten benötigt wird.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Die vorliegende Offenlegung zielt darauf ab, ein System für die Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten durch ein Sol-Gel-Verfahren bereitzustellen, da es kostengünstig, einfach, sicher, massenhaft und in großem Maßstab herstellbar ist und sich die Schichtdicke leicht anpassen lässt.

In einer Ausführungsform wird ein System zur Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten offengelegt. Das System umfasst eine Mischkammer mit mindestens zwei Kammern, wobei SnO₂ durch Auflösen einer vorbestimmten Menge von SnCl₂·2H₂O in 10 ml Ethanol in einer ersten Kammer der beiden Kammern synthetisiert wird, wobei Ir-dotiertes SnO₂ durch Auflösen einer vorbestimmten Menge von IrCl₃·H₂O/SnCl₂·2H₂O in 10 ml Ethanol in einer zweiten Kammer der beiden Kammern synthetisiert wird. Das System umfasst ferner einen Rührer, der mit dem ersten und dem zweiten Abteil verbunden ist, um die Lösungen bei 60 °C 3 Stunden lang zu rühren. Das System umfasst ferner einen Tropfer zur tropfenweisen Zugabe eines Stabilisierungsmittels in einer vorbestimmten Menge, um klare und homogene Lösungen zu erhalten, wodurch die Lösungen einen Tag lang bei Raumtemperatur gealtert werden, wobei Ni(CH₃COO)₂·4H₂O dem zweiten Abteil in

spezifischen gewichteten Mengen für 1.5 %, 3.0 % und 4.5 % Ni-dotierte SnO₂:Ir-Strukturen zugegeben wird, um SnO₂:Ni,Ir-Schichten zu erhalten. Das System umfasst ferner eine Schleuderbeschichtungsmaschine zur Durchführung des Schleuderbeschichtungsprozesses auf vorgereinigten und getrockneten Glassubstraten. Das System umfasst ferner einen Ofen mit kontrollierter Luft, in dem die Filme 3 Stunden lang bei 450°C wärmebehandelt werden und der Ofen über Nacht auf Raumtemperatur abkühlt, um nickeldotierte SnO₂-Dünnschichten zu synthetisieren.

In einer anderen Ausführungsform wird das Spin-Coating-Verfahren auf vorgereinigten und getrockneten Glassubstraten bei 2500 U/min für 25 s durchgeführt, gefolgt von einer 15-minütigen Trocknung bei 200°C.

In einer anderen Ausführungsform werden die Schleuderbeschichtungs- und Trocknungsprozesse 7 Mal wiederholt.

In einer anderen Ausführungsform wird eine Sn-Quelle aus SnCl₂·2H₂O ausgewählt, während eine Ir-Quelle aus IrCl₃·H₂O ausgewählt wird und eine Ni-Quelle aus Ni(CH₃COO)₂·4H₂O ausgewählt wird.

In einer anderen Ausführungsform wird hochreines und wasserfreies Ethanol als allgemeines Lösungsmittel und Eisessig als Stabilisator gewählt.

In einer anderen Ausführungsform umfasst eine in dem System verwendete Zusammensetzung SnCl₂·2H₂O, IrCl₃·H₂O/SnCl₂·2H₂O, Ethanol, Ni(CH₃COO)₂·4H₂O, Ethanol und Eisessig.

In einer anderen Ausführungsform wird das Stabilisierungsmittel nach 20 Minuten nach Beendigung des Rührens zugegeben, um eine klare und homogene Lösung zu erhalten.

Gegenstand der vorliegenden Offenbarung ist die Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten durch eine Sol-Gel-Methode aufgrund

ihrer geringen Kosten, Einfachheit, Sicherheit, Massen-/Großserienproduktion und einfachen Anpassung der Schichtdicke.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Offenlegung ist die Bewertung des Einflusses von zwei Übergangsmetallen, dem Edelmetall Ir und Ni, auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften von SnO₂-Material.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, ein schnelles und kostengünstiges System zur Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten bereitzustellen.

Um die Vorteile und Merkmale der vorliegenden Offenbarung weiter zu verdeutlichen, wird eine genauere Beschreibung der Erfindung durch Bezugnahme auf bestimmte Ausführungsformen gegeben, die in den beigefügten Figuren dargestellt sind. Es wird davon ausgegangen, dass diese Figuren nur typische Ausführungsformen der Erfindung darstellen und daher nicht als Einschränkung des Umfangs der Erfindung anzusehen sind. Die Erfindung wird mit zusätzlicher Spezifität und Detail mit den beigefügten Figuren beschrieben und erläutert werden.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

Diese und andere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Offenbarung werden besser verstanden, wenn die folgende detaillierte Beschreibung mit Bezug auf die beigefügten Figuren gelesen wird, in denen gleiche Zeichen gleiche Teile in den Figuren darstellen, wobei:

Figur 1 ein Blockdiagramm eines Systems zur Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten in Übereinstimmung mit einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt.

Der Fachmann wird verstehen, dass die Elemente in den Figuren der Einfachheit halber dargestellt sind und nicht unbedingt maßstabsgetreu gezeichnet wurden. Die Flussdiagramme veranschaulichen beispielsweise das Verfahren anhand der wichtigsten Schritte, um das Verständnis der Aspekte der vorliegenden Offenbarung zu verbessern. Darüber hinaus kann es sein, dass eine oder mehrere Komponenten der Vorrichtung in den Figuren durch herkömmliche Symbole dargestellt sind, und dass die Figuren nur die spezifischen Details zeigen, die für das Verständnis der Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung relevant sind, um die Figuren nicht mit Details zu überfrachten, die für Fachleute, die mit der vorliegenden Beschreibung vertraut sind, leicht erkennbar sind.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

Um das Verständnis der Erfindung zu fördern, wird nun auf die in den Figuren dargestellte Ausführungsform Bezug genommen und diese mit bestimmten Worten beschrieben. Es versteht sich jedoch von selbst, dass damit keine Einschränkung des Umfangs der Erfindung beabsichtigt ist, wobei solche Änderungen und weitere Modifikationen des dargestellten Systems und solche weiteren Anwendungen der darin dargestellten Grundsätze der Erfindung in Betracht gezogen werden, wie sie einem Fachmann auf dem Gebiet der Erfindung normalerweise einfallen würden.

Der Fachmann wird verstehen, dass die vorstehende allgemeine Beschreibung und die folgende detaillierte Beschreibung beispielhaft und erläuternd für die Erfindung sind und nicht als einschränkend angesehen werden.

Wenn in dieser Beschreibung von "einem Aspekt", "einem anderen Aspekt" oder ähnlichem die Rede ist, bedeutet dies, dass ein bestimmtes Merkmal, eine bestimmte Struktur oder eine bestimmte Eigenschaft, die

im Zusammenhang mit der Ausführungsform beschrieben wird, in mindestens einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung enthalten ist. Daher können sich die Ausdrücke "in einer Ausführungsform", "in einer anderen Ausführungsform" und ähnliche Ausdrücke in dieser Beschreibung alle auf dieselbe Ausführungsform beziehen, müssen es aber nicht.

Die Ausdrücke "umfasst", "enthaltend" oder andere Variationen davon sollen eine nicht ausschließliche Einbeziehung abdecken, so dass ein Verfahren oder eine Methode, die eine Liste von Schritten umfasst, nicht nur diese Schritte einschließt, sondern auch andere Schritte enthalten kann, die nicht ausdrücklich aufgeführt sind oder zu einem solchen Verfahren oder einer solchen Methode gehören. Ebenso schließen eine oder mehrere Vorrichtungen oder Teilsysteme oder Elemente oder Strukturen oder Komponenten, die mit "umfasst...a" eingeleitet werden, nicht ohne weitere Einschränkungen die Existenz anderer Vorrichtungen oder anderer Teilsysteme oder anderer Elemente oder anderer Strukturen oder anderer Komponenten oder zusätzlicher Vorrichtungen oder zusätzlicher Teilsysteme oder zusätzlicher Elemente oder zusätzlicher Strukturen oder zusätzlicher Komponenten aus.

Sofern nicht anders definiert, haben alle hierin verwendeten technischen und wissenschaftlichen Begriffe die gleiche Bedeutung, wie sie von einem Fachmann auf dem Gebiet, zu dem diese Erfindung gehört, allgemein verstanden wird. Das System, die Methoden und die Beispiele, die hier angegeben werden, dienen nur der Veranschaulichung und sind nicht als Einschränkung gedacht.

Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren im Detail beschrieben.

Unter Bezugnahme auf **Figur 1** ist ein Blockdiagramm eines Systems zur Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung dargestellt. Das System 100 umfasst eine Mischkammer 102 mit mindestens zwei Kammern, in der SnO₂ durch Auflösen einer vorbestimmten Menge von SnCl₂ · 2H₂O in 10 ml Ethanol in einem ersten Abteil 104 aus den beiden Abteilen synthetisiert wird, wobei Ir-dotiertes SnO₂ durch Auflösen einer vorbestimmten Menge von IrCl₃ · H₂O/SnCl₂ · 2H₂O in 10 ml Ethanol in einem zweiten Abteil 106 aus den beiden Abteilen synthetisiert wird.

In einer Ausführungsform ist ein Rührer 108 mit der ersten Kammer 104 und der zweiten Kammer 106 verbunden, um die Lösungen 3 Stunden lang bei 60 °C zu rühren.

In einer Ausführungsform wird ein Tropfer 110 für die Zugabe eines Stabilisierungsmittels mit einer vorbestimmten Menge und tropfenweise verwendet, um klare und homogene Lösungen zu erhalten, wodurch die Lösungen einen Tag lang bei Raumtemperatur gealtert werden, wobei Ni(CH₃COO)₂ · 4H₂O zu der zweiten Kammer 106 mit spezifischen gewichteten Mengen für 1.5 %, 3.0 % und 4.5 % Ni-dotierte SnO₂:Ir-Strukturen hinzugefügt wird, um SnO₂:Ni,Ir-Filme zu erhalten.

In einer Ausführungsform ist eine Schleuderbeschichtungsmaschine 112 für die Durchführung des Schleuderbeschichtungsprozesses auf vorgereinigten und getrockneten Glassubstraten konfiguriert.

In einer Ausführungsform wird ein Ofen mit kontrollierter Luft 114 verwendet, um die Schichten 3 Stunden lang einer Wärmebehandlung bei 450°C zu unterziehen und den Ofen über Nacht auf Raumtemperatur abzukühlen, um nickeldotierte SnO₂-Dünnschichten zu synthetisieren.

In einer anderen Ausführungsform wird das Spin-Coating-Verfahren auf vorgereinigten und getrockneten Glassubstraten bei 2500 U/min für 25 s durchgeführt, gefolgt von einer 15-minütigen Trocknung bei 200°C.

In einer anderen Ausführungsform werden die Schleuderbeschichtungs- und Trocknungsprozesse 7 Mal wiederholt.

In einer anderen Ausführungsform wird eine Sn-Quelle aus $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ausgewählt, während eine Ir-Quelle aus $\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ausgewählt wird und eine Ni-Quelle aus $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ausgewählt wird.

In einer anderen Ausführungsform wird hochreines und wasserfreies Ethanol als allgemeines Lösungsmittel und Eisessig als Stabilisator gewählt.

In einer anderen Ausführungsform umfasst eine in dem System verwendete Zusammensetzung $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Ethanol, $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Ethanol und Eisessig.

In einer anderen Ausführungsform wird das Stabilisierungsmittel nach 20 Minuten nach Beendigung des Rührens zugegeben, um eine klare und homogene Lösung zu erhalten.

Chemikalien und Herstellungsverfahren:

Die Quelle für Sn ist $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MW} \sim 225.63$, von Merck, während die Quelle für das Element Ir $\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{MW} \sim 298.58$ g/mol von Sigma ist. Die Ni-Quelle ist $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{MW} \sim 248.84$ von FairSky. Hochreines und wasserfreies Ethanol als übliches Lösungsmittel und Eisessig als Stabilisator. 0.325 M Lösungen von SnO_2 und 3.0% Ir-dotiertem SnO_2 ($\text{SnO}_2:\text{Ir}$) werden synthetisiert, indem die erforderlichen Mengen von $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ bzw. $\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in jeweils 10 ml Ethanol gelöst werden. Diese beiden werden dann 3 Stunden lang bei 60 °C gerührt. Nach den ersten 20 Minuten wird das Stabilisierungsmittel in einer vorher festgelegten Menge und tropfenweise zugegeben, um eine klare und homogene Lösung zu erhalten. Anschließend werden die Lösungen einen Tag lang bei RT gelagert. Um $\text{SnO}_2:\text{Ni},\text{Ir}$ -Filme zu erhalten, wird der zweiten Lösung $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ in spezifischen,

gewichteten Mengen für 1.5 %, 3.0 % und 4.5 % Ni-dotierte SnO₂:Ir-Strukturen zugesetzt. Das Spin-Coating-Verfahren wird auf vorgereinigten und getrockneten Glassubstraten und bei 2500 U/min für 25 s durchgeführt, gefolgt von einer 15-minütigen Trocknung bei 200°C. Die Beschichtungs- und Trocknungsprozesse werden 7 Mal wiederholt. Schließlich werden die Filme in einem Ofen mit kontrollierter Luft 114 für 3.0 Stunden bei 450 °C wärmebehandelt und anschließend über Nacht auf RT abgekühlt.

Charakterisierung und Messungen:

Die Kristallstrukturidentifikation von dotiertem und reinem SnO₂ wird mit einem hochauflösenden Röntgendiffraktometer PANalyticalX'Pert Pro System, Holland, ausgewertet. Dabei wird CuK α -Strahlung der Wellenlänge $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ mit einem Schritt von 0.02° verwendet und bei 42 kV und 32 mA betrieben. Die Muster werden im Bereich von $4 - 70^\circ$ auf der 2θ -Skala aufgezeichnet. Die Oberflächenmorphologie, die Dicke und die mittlere quadratische Rauheit (R_{rms}) der Filme wurden mit dem AFM, PARK SYSTEM, XE-100E, bestimmt. Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) wird zur Untersuchung der funktionellen Gruppen der Filme mit JASCO, FT/IR-6200, im Wellenzahlbereich $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ eingesetzt. Die Absorptionsspektren (Abs.) wurden im Wellenlängenbereich von 200-1000 nm mit einem UV/VIS/NIR 3700 Shimadzu-Doppelstrahl-Spektrophotometer aufgezeichnet. Der Absorptionskoeffizient $\alpha = 2.303 \text{ Abs./Folienstärke } (d)$, wird zur Berechnung des direkten optischen E_g der Proben verwendet. Alle diese Untersuchungen werden bei RT durchgeführt. Photoelektrochemische Wasserspaltungsmessungen werden mit 100 ml 0.5 M HCl-, NaOH- und Na₂SO₄-Lösung bei RT (25°C) mit einer Sweep-Rate von 1 mV/s durchgeführt. Die Nanokomposit-Elektrode mit einer Fläche von 1 cm^2 wird als Photokathode verwendet, und die Gegenelektrode mit der gleichen Fläche ist die Pt-Elektrode. Das simulierte Sonnenlicht fällt mit

einer Bestrahlungsstärke von 1 W/cm^2 auf die Elektrodenoberfläche, die von einer Metallhalogenidlampe geliefert wird.

SnO_2 , $\text{SnO}_2\text{:Ir}$ und (1.5 – 4.5 %) Ni-dotierte $\text{SnO}_2\text{:Ir}$ -Filme wurden auf Glassubstrat durch Spin-Coating-Methode abgeschieden. Die thermodynamischen Faktoren wurden mit der 3.0 % Ni-dotierten $\text{SnO}_2\text{:Ir}$ -Elektrode ermittelt: Aktivierungsenergie = 17.598 kJ/mol, Entropie = 107.91 J/mol.K und Enthalpie = 20.31 kJ/mol. Darüber hinaus wies die Elektrode eine höhere elektrochemische Oberfläche (~ 1.8 -mal) und niedrigere Tafelsteigungen (103.0 und 70.26 mv/dec) im Vergleich zur 3%-Ir-dotierten Photoelektrode auf. Darüber hinaus ändert sich die Korrosionsrate von 6.18 auf $1.69 \text{ nm/Jahr}^{-1}$ durch die Beimischung von 1.5% Ni/3%Ir-Codotierstoffen zur reinen SnO_2 -Elektrode. Alle Schlüsselparameter beziehen sich auf eine signifikante Verringerung der Ladungsrekombination an der Elektrode/Elektrolyt-Grenzfläche, die zur Bestimmung des PEC H_2 -Erzeugungsmechanismus verwendet wird. Alle Schlüsselparameter bezogen sich auf eine starke Verringerung der Ladungsrekombination an der Elektrolyt/Elektroden-Grenzfläche und werden zur Identifizierung des PEC- H_2 -Erzeugungsmechanismus verwendet. Aus der Stabilitätsstudie geht hervor, dass die optimierte Photoelektrode nach 12 Durchläufen der Wiederverwendbarkeit bei -1 V etwa 94.95 % ihrer ursprünglichen PEC-Leistung beibehält. Das System bietet eine neue Dotierungsstrategie zur Entwicklung einer neuen Kollektion hochaktiver SnO_2 -basierter Photoelektroden für die nachhaltige PEC-Wasserstoffproduktion unter Sonnenlicht.

Die Figuren und die vorangehende Beschreibung geben Beispiele für Ausführungsformen. Der Fachmann wird verstehen, dass eines oder mehrere der beschriebenen Elemente durchaus zu einem einzigen Funktionselement kombiniert werden können. Alternativ dazu können bestimmte Elemente in mehrere Funktionselemente aufgeteilt werden. Elemente aus einer Ausführungsform können einer anderen Ausführungsform hinzugefügt werden. Die Reihenfolge der hier

beschriebenen Prozesse kann beispielsweise geändert werden und ist nicht auf die hier beschriebene Weise beschränkt. Darüber hinaus müssen die Handlungen eines Flussdiagramms nicht in der dargestellten Reihenfolge ausgeführt werden; auch müssen nicht unbedingt alle Handlungen ausgeführt werden. Auch können die Handlungen, die nicht von anderen Handlungen abhängig sind, parallel zu den anderen Handlungen ausgeführt werden. Der Umfang der Ausführungsformen ist durch diese spezifischen Beispiele keineswegs begrenzt. Zahlreiche Variationen sind möglich, unabhängig davon, ob sie in der Beschreibung explizit aufgeführt sind oder nicht, wie z. B. Unterschiede in der Struktur, den Abmessungen und der Verwendung von Materialien. Der Umfang der Ausführungsformen ist mindestens so groß wie in den folgenden Ansprüchen angegeben.

Vorteile, andere Vorzüge und Problemlösungen wurden oben im Hinblick auf bestimmte Ausführungsformen beschrieben. Die Vorteile, Vorzüge, Problemlösungen und Komponenten, die dazu führen können, dass ein Vorteil, ein Vorteil oder eine Lösung auftritt oder ausgeprägter wird, sind jedoch nicht als kritisches, erforderliches oder wesentliches Merkmal oder Komponente eines oder aller Ansprüche zu verstehen.

REFERENZEN-

100- ein System zur Synthese von nickeldotierten SnO₂-Schichten

102-eine Mischkammer

104-eine erste Kammer

106-eine zweite Kammer

108-ein Rührer

110-ein Tropfenzähler

112-eine Spin-Coating-Maschine

114-ein kontrollierter Luftofen

SCHUTZANSPRÜCHE

1. System zur Synthese von nickeldotierten SnO₂-Dünnschichten, wobei das System umfasst:

eine Mischkammer mit mindestens zwei Kammern, wobei SnO₂ durch Auflösen einer vorbestimmten Menge von SnCl₂·2H₂O in 10 ml Ethanol in einer ersten Kammer aus den zwei Kammern synthetisiert wird, wobei Ir-dotiertes SnO₂ durch Auflösen einer vorbestimmten Menge von IrCl₃·H₂O/SnCl₂·2H₂O in 10 ml Ethanol in einer zweiten Kammer aus den zwei Kammern synthetisiert wird;

einen Rührer, der mit der ersten und zweiten Kammer verbunden ist, um die Lösungen bei 60°C 3 Stunden lang zu rühren;

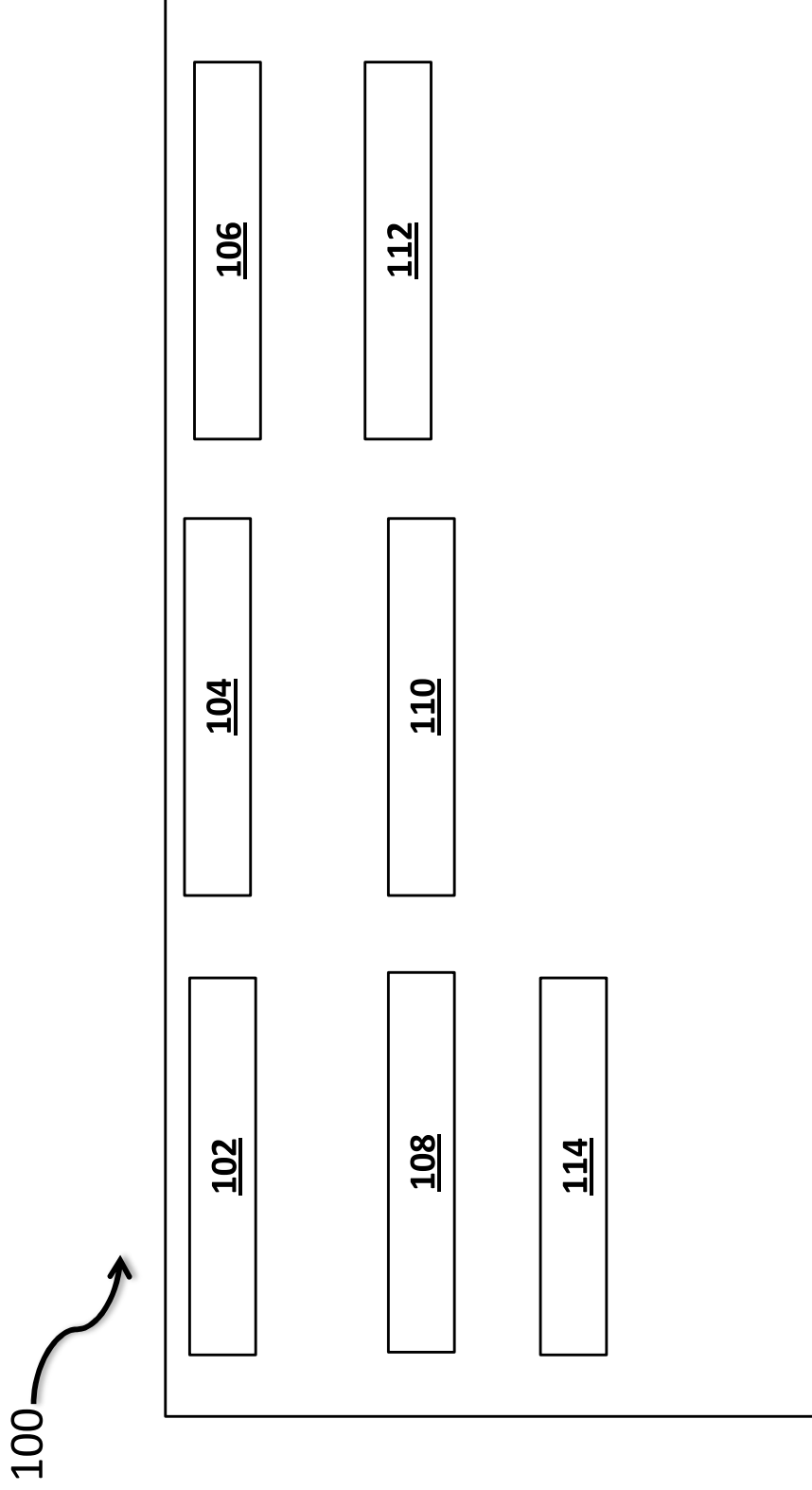
eine Pipette zur tropfenweisen Zugabe eines Stabilisierungsmittels in einer vorgegebenen Menge, um klare und homogene Lösungen zu erhalten, wobei die Lösungen einen Tag lang bei Raumtemperatur gelagert werden;

wobei Ni(CH₃COO)₂·4H₂O dem zweiten Kompartiment in spezifischen gewichteten Mengen für 1.5 %, 3.0 % und 4.5 % Ni-dotierte SnO₂:Ir-Strukturen zugegeben wird, um SnO₂:Ni,Ir-Schichten zu erhalten;

eine Schleuderbeschichtungsmaschine zur Durchführung eines Schleuderbeschichtungsprozesses auf vorgereinigten und getrockneten Glassubstraten; und

einen Ofen mit kontrollierter Luft, in dem die Filme 3 Stunden lang bei 450 °C wärmebehandelt werden und der Ofen über Nacht auf Raumtemperatur abkühlt, um nickeldotierte SnO₂-Dünnschichten zu synthetisieren.

2. System nach Anspruch 1, wobei das Schleuderbeschichtungsverfahren auf vorgereinigten und getrockneten Glassubstraten bei 2500 U/min für 25 s durchgeführt wird, gefolgt von einer 15-minütigen Trocknung bei 200°C.
3. System nach Anspruch 1 und 2, wobei die Schleuderbeschichtungs- und Trocknungsprozesse 7-mal wiederholt werden.
4. System nach Anspruch 1, wobei eine Sn-Quelle aus $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ausgewählt ist, während eine Ir-Quelle aus $\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ausgewählt ist, und eine Ni-Quelle aus $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ausgewählt ist.
5. System nach Anspruch 1, wobei ein hochreines und wasserfreies Ethanol als gemeinsames Lösungsmittel und Eisessig als Stabilisator ausgewählt wird.
6. Zusammensetzung nach Anspruch 1, wobei die Zusammensetzung $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{IrCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Ethanol, $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, Ethanol und Eisessig umfasst.
7. System nach Anspruch 1, wobei das Stabilisierungsmittel nach 20 Minuten nach Beendigung des Rührens zugegeben wird, um eine klare und homogene Lösung zu erhalten.



Figur 1