(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Mai 2012 (03.05.2012)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/055693 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 21/30 (2006.01) *H01L 31/18* (2006.01)
H01L 21/46 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/067620

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Oktober 2011 (10.10.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102010049587.5 26. Oktober 2010 (26.10.2010) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **EVONIK DEGUSSA GMBH** [DE/DE]; Rellinghauser Straße 1-11, 45128 Essen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **STENNER, Patrik** [DE/DE]; Martin-Luther-King-Str. 22b, 63452 Hanau (DE). **WIEBER, Stephan** [DE/DE]; Marie-Juchacz-Str. 7, 76137 Karlsruhe (DE). **CÖLLE, Michael** [DE/DE]; Arenbergstraße 6, 45721 Haltern am See (DE). **PATZ, Matthias** [DE/DE]; Lindhorststr. 34, 46240 Bottrop (DE). **CARIUS, Reinhard** [DE/DE]; Kommstrasse 8, 52428 Jülich (DE). **BRONGER, Torsten** [DE/DE]; Lochnerstraße 7, 52064 Aachen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE ELECTROCHEMICAL HYDROGEN PASSIVATION OF SEMICONDUCTOR LAYERS

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR ELEKTROCHEMISCHEN WASSERSTOFFPASSIVIERUNG VON HALBLEITERSCHICHTEN

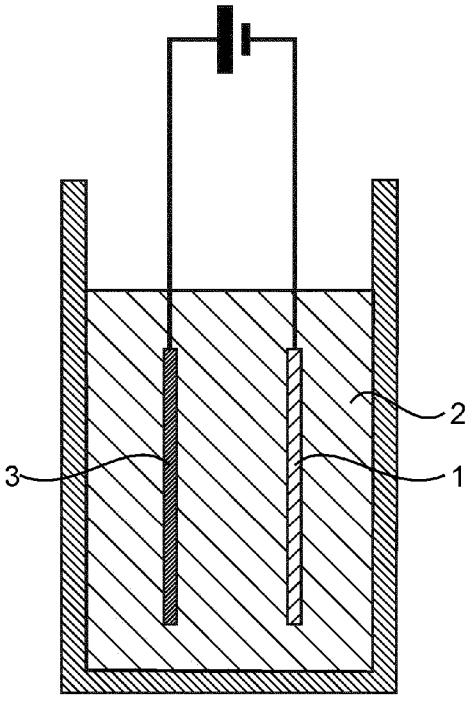


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a method for the hydrogen passivation of semiconductor layers, wherein the semiconductor layer (1) to be passivated is electrochemically passivated. In the context of the method according to the invention, in particular the semiconductor layer (1) to be passivated can be inserted as a cathode into an electrolysis apparatus comprising an anode (3) and an electrolyte (2) containing a proton source, and an electrolysis voltage can be applied to the semiconductor (1) and the anode (3). Furthermore, the present invention relates to semiconductor layers obtainable by the method according to the invention.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Wasserstoffpassivierung von Halbleiterschichten, wobei die zu passivierende Halbleiterschicht (1) elektrochemisch passiviert wird. Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann insbesondere die zu passivierende Halbleiterschicht (1) als Kathode in eine Elektrolyseapparatur mit einer Anode (3) und einem, eine Protonenquelle enthaltenden Elektrolyten (2) eingesetzt werden und eine Elektrolysespannung an die Halbleiterschicht (1) und die Anode (3) angelegt werden. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältliche Halbleiterschichten.

WO 2012/055693 A1

MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Verfahren zur elektrochemischen Wasserstoffpassivierung von Halbleiterschichten

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Wasserstoffpassivierung von Halbleiterschichten sowie entsprechend passivierte Halbleiterschichten.

Halbleiterschichten können in Abhängigkeit von dem eingesetzten Herstellungsverfahren so genannte offene Bindungen (Englisch: dangling bonds) in der Halbleiterstruktur aufweisen. Dadurch können jedoch die Halbleitereigenschaften verschlechtert werden. Im Fall von Solarzellen kann dies zu einer Verringerung des lichtinduzierten Ladungstransportes führen. Um die Halbleitereigenschaften zu verbessern beziehungsweise um offenen Bindungen mit Wasserstoffatomen zu sättigen, kann in die Halbleiterschicht, insbesondere nach der Herstellung der Schicht, Wasserstoff eingetragen werden, was als Wasserstoffpassivierung bezeichnet wird.

In der Literatur sind einige Verfahren zur Wasserstoffpassivierung von Siliziumschichten beschrieben:

Die Druckschrift US 5,169,791 beschreibt eine Wasserstoffpassivierung von Silizium durch eine thermische Behandlung bei 250 °C bis 500 °C.

Die Druckschrift US 5,304,509 offenbart, dass ein Siliziumsubstrat dadurch passiviert werden kann, dass das Siliziumsubstrat zuerst mit einem Wasserstoffionenstrahl behandelt und anschließenden mit elektromagnetischer Strahlung bestrahlt wird.

Die Druckschriften US 4,835,006 und US 4,343,830 beschreiben, dass eine Wasserstoffpassivierung durch Plasmaverfahren erzielt werden kann.

In der Druckschrift DE19652471 wird eine Ionenquelle zur Passivierung eingesetzt. Es wird die Wasserstoffeinlagerung im Hochvakuum beschrieben.

Verfahren zur elektrochemischen Passivierung in einer Halbleiterschicht werden in der Literatur nicht beschrieben. In der Druckschrift DE 19510852 wird ein Verfahren zur elektrochemischen Oberflächenbehandlung beschrieben, wobei eine Silizium-Oberfläche als Anode eingesetzt wird, das Verfahren entspricht also einer anodischen Oxidation. Zusätzlich soll dabei die

Silizium-Oberfläche durch elektrochemisches Ätzen geglättet werden. Mit dem genannten Verfahren wird nur die Oberfläche der Schicht verändert.
In der Druckschrift DE 10130801 wird ebenfalls eine elektrochemische Passivierung der Oberfläche beschrieben. Dabei wird organisches Material elektrochemisch auf der Oberfläche der Silizium-Schicht abgeschieden. Die dünne organische Schutzschicht kann nachteilig für die korrekte Wirkungsweise einer Solarzelle sein, insbesondere wenn sich die Schicht durch thermische Belastung zersetzt.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Wasserstoffpassivierung von Halbleiterschichten, wobei die zu passivierende Halbleiterschicht elektrochemisch passiviert wird.

Unter Wasserstoffpassivierung im Sinne der vorliegenden Erfindung wird dabei die Absättigung offener Bindungen an der Oberfläche und innerhalb der Halbleiterschicht verstanden.

Unter einer Halbleiterschicht kann dabei insbesondere eine Schicht verstanden werden, welche mindestens einen Elementhalbleiter, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Si, Ge, α-Sn, C, B, Se, Te und Mischungen davon, und/oder mindestens einen Verbindungshalbleiter, insbesondere ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus IV-IV-Halbleitern, wie SiGe, SiC, III-V-Halbleitern, wie GaAs, GaSb, GaP, InAs, InSb, InP, InN, GaN, AlN, AlGaAs, InGaN, oxidischen Halbleitern, wie InSnO, InO, ZnO, II-VI-Halbleitern, wie ZnS, ZnSe, ZnTe, III-VI-Halbleitern, wie GaS, GaSe, GaTe, InS, InSe, InTe, I-III-VI-Halbleitern, wie CuInSe2, CuInGaSe2, CuInS2, CuInGaS2, und Mischungen davon, umfasst oder daraus besteht.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass eine Wasserstoffpassivierung von Halbleiterschichten in einer einfachen Anlage und bei Temperaturen von unter 250 °C, beispielsweise bei Raumtemperatur, erzielt werden kann. So kann vorteilhafterweise wiederum auf ein Vakuum, eine Nachbehandlung bei hohen Temperaturen, Bestrahlung und/oder Plasmabehandlung verzichtet und die daraus resultierenden Kosten vermieden werden.

Die zu passivierende Halbleiterschicht wird vorzugsweise mittels einer Elektrolyse in einem flüssigen Elektrolyten elektrochemisch passiviert.

Vorzugsweise wird die zu passivierende Halbleiterschicht bei der Elektrolyse als Kathode geschaltet. So kann vorteilhafterweise die Bildung einer Oxidschicht vermieden werden.

Vorzugsweise umfasst der Elektrolyt dabei eine Protonenquelle.
Unter einer Protonenquelle kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere eine Verbindung verstanden werden, welche mindestens ein Proton abspalten beziehungsweise in mindestens ein Proton und mindestens ein Gegenion dissoziieren kann.

Zum Beispiel kann die Protonenquelle grundsätzlich ausgewählt sein, aus der Gruppe, bestehend aus Wasser, anorganischen Säuren, wie Salzsäure, organischen Säuren, wie Carbonsäuren, Alkoholen, wie Ethanol, CH-aciden organischen Verbindungen, wie enolisierbaren Carbonylverbindungen, Acetylen, Cyclopentadien, und Mischungen davon.

Dabei kann unter einer CH-aciden organischen Verbindung insbesondere eine organische Verbindung verstanden werden, welche ein an ein Kohlenstoffatom gebundenes Wasserstoffatom als Proton abgeben kann.

Vorzugsweise wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine Protonenquelle eingesetzt, deren Gegenion anodisch oxidierbar ist.

Im Rahmen einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Elektrolysespannung derart angelegt, dass an der Halbleiterschicht Protonen, insbesondere der Protonenquelle, reduziert werden und/oder Wasserstoff gebildet wird. Insbesondere können im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens die Protonen der Protonenquelle an der Halbleiterschicht zu Wasserstoff reduziert und die Gegenionen der Protonenquelle an der Anode, beispielsweise zu Sauerstoff, oxidiert werden. Ohne an eine spezielle Theorie gebunden zu sein, wird angenommen, dass der Reaktionsmechanismus bei der erfindungsgemäßen Wasserstoffpassivierung darauf beruht, dass bei der Reduktion der Protonen zu Wasserstoff Wasserstoffatome nicht nur an der Oberfläche sondern auch in die Halbleiterschicht eingelagert werden können und dabei die offenen Bindungen (Englisch: dangling bonds) mit Wasserstoffatomen gesättigt werden können. Insbesondere kann zwischen der Halbleiterschicht als Kathode (negative Elektrode) und einer Anode (positive Elektrode) eine Spannung von größer oder gleich 100 mV, beispielsweise von größer oder gleich 1 V, zum Beispiel von 4 V, angelegt werden. Zum Beispiel kann zwischen der Halbleiterschicht als

Kathode (negative Elektrode) und der Anode (positive Elektrode) eine Spannung in einem Bereich von ≥ 1 V bis ≤ 500 V angelegt werden. Bei der Elektrolyse der Protonenquelle kann sich beispielsweise ein kathodischer Strom von weniger als 1 mA, beispielsweise ein Strom im Nanoamperebereich, einstellen.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die Protonenquelle Wasser. Insbesondere kann die Protonenquelle Wasser sein. Wasser ist vorteilhafterweise günstig, weist ein anodisch oxidierbares Gegenion auf und kann rückstandslos zu Wasserstoff und Sauerstoff umgesetzt werden. Beispielsweise kann der Elektrolyt von > 0 Gew.-% bis ≤ 100 Gew.-%, insbesondere von ≥ 0,3 Gew.-% bis ≤ 99,5 Gew.-% an Wasser, bezogen auf das Gesamtvolumen des Elektrolyten, und/oder von > 0 Vol.-% bis ≤ 100 Vol.-%, insbesondere von ≥ 0,5 Vol.-% bis ≤ 99,5 Vol.-% an Wasser, bezogen auf das Gesamtvolumen des Elektrolyten, umfassen. Insbesondere ergibt dabei die Summe der Bestandteile des Elektrolyten, beispielsweise Wasser und ionischen Flüssigkeiten und/oder anorganischen Salzen und/oder Alkoholen, 100 Gewichtsprozent beziehungsweise Volumenprozent.

Vorzugsweise umfasst der Elektrolyt dabei keine Kationen, die ein positives Standardpotential aufweisen. Da Wasserstoff per Definition ein Standardpotential von null aufweist, kann auf diese Weise vermieden werden, dass an der Halbleiterschicht andere Bestandteile des Elektrolyten als Protonen reduziert werden.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Verfahren die Verfahrensschritte:

- Einsetzen der zu passivierenden Halbleiterschicht als Kathode in eine Elektrolyseapparatur mit einer Anode und einem, eine Protonenquelle enthaltenden Elektrolyten, und
- Anlegen einer Elektrolysespannung an die Halbleiterschicht und die Anode.

Vorzugsweise wird die Halbleiterschicht vollständig in den Elektrolyten eingetaucht. Auf diese Weise kann die Gleichmäßigkeit der Wasserstoffpassivierung erhöht werden
Bei der zu passivierenden Halbleiterschicht kann es sich insbesondere um eine durch thermische Behandlung und/oder ultraviolette Bestrahlung, insbesondere einer Siliziumvorstufenschicht hergestellte Halbleiterschicht handeln. Die Halbleiterschicht kann eine

Schichtdicke in einem Bereich von ≥ 1 nm bis ≤ 5000 nm, beispielsweise von ≥ 10 nm bis ≤ 2000 nm, zum Beispiel von etwa ≥ 50 nm bis etwa ≤ 300 nm, aufweisen.

Im Rahmen einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die zu passivierende Halbleiterschicht eine Silizium umfassende Schicht, insbesondere eine Siliziumschicht. Diese Schichten lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren besonders gut passivieren. Die Schicht kann beispielsweise eine, auf einem Siliziumdioxid beschichteten Siliziumwafer ausgebildete Schicht sein. Die Schicht kann insbesondere durch thermische Behandlung und/oder ultraviolette Bestrahlung einer Siliziumvorstufe (Siliziumprecursor) hergestellt werden. Beispielsweise kann die Siliziumschicht durch thermische Behandlung und/oder ultraviolette Bestrahlung einer, mindestens ein oligomerisiertes Silan umfassenden Schicht hergestellt werden. Dabei kann die Siliziumvorstufen-Schicht beispielsweise durch verschiedene Beschichtungsmethoden, wie Rolle-zu Rolle-Beschichtung (R2R-Beschichtung), Schlitzdüsenbeschichtung (Englisch: Slot Die), Sprühbeschichtung und Rotationsbeschichtung (Englisch: Spin Coating) ausgebildet werden. Die thermische Behandlung kann dabei beispielsweise bei einer Temperatur von etwa 200 °C bis 1000 °C für einige Sekunden bis Stunden durchgeführt werden. Vorzugsweise wird die thermische Behandlung und/oder ultraviolette Bestrahlung nicht länger als 30 min durchgeführt.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst das Verfahren weiterhin den Verfahrensschritt: Nachführen der verbrauchten Protonenquellenmenge während der Elektrolyse. Auf diese Weise kann ebenfalls die Gleichmäßigkeit der Wasserstoffpassivierung erhöht werden. Mit anderen Worten, die während der Elektrolyse verbrauchte Protonenquellenmenge wird im Rahmen dieser Ausführungsform durch Zugabe einer entsprechenden Protonenquellenmenge ersetzt. Dies kann schrittweise oder kontinuierlich erfolgen. Vorzugsweise wird die Protonenquellenmenge kontinuierlich nachgeführt.

Die Elektrolyse kann insbesondere bei einer Temperatur innerhalb des Flüssigkeitsbereichs des Elektrolyten durchgeführt werden. Beispielsweise kann die Elektrolyse bei einer Temperatur in einem Bereich von etwa 5 °C bis zur Verdampfungstemperatur des am niedrigsten siedenden Bestandteil des Elektrolyten durchführt werden. Dabei ist es möglich die Elektrolyse bei Raumtemperatur, insbesondere 20-30 °C, und Atmosphärendruck, insbesondere etwa 1 atm, durchzuführen. Dies hat den Vorteil, dass Beheizungskosten vermieden werden können.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren bei einer Temperatur ≥ 25 °C bis ≤ 500 °C oder ≤ 400 °C, insbesondere von ≥ 25 °C bis ≤ 250 °C, beispielsweise von ≥ 50 °C bis ≤ 200 °C, zum Beispiel von ≥ 50 °C bis < 100 °C, durchgeführt. Dadurch kann vorteilhafterweise die Verfahrensdauer verringert und die Durchlaufrate erhöht werden. Durch eine Verringerung der Verfahrensdauer können wiederum Kosten gesenkt werden, welche Beheizungskosten ausgleichen können. Um die Verdampfungstemperatur des Elektrolyten beziehungsweise der Protonenquelle, insbesondere Wasser, zu erhöhen, kann das Verfahren bei einem höheren Druck als Atmosphärendruck (1 atm) durchgeführt werden.

Vorzugsweise wird der Elektrolyt während der Elektrolyse gerührt. Auf diese Weise kann ebenfalls die Gleichmäßigkeit der Wasserstoffpassivierung erhöht werden.

Die Elektrolyse kann mindestens 30 Minuten, beispielsweise mindestens 1 Stunde, zum Beispiel 12 Stunden, lang durchgeführt werden.

Vorzugsweise sind die Kathode und die Anode parallel zueinander angeordnet. Auf diese Weise kann ebenfalls die Gleichmäßigkeit der Wasserstoffpassivierung erhöht werden. Dabei können die Kathode und die Anode insbesondere gleich große Elektrodenflächen aufweisen. Der Elektrodenabstand kann dabei in einem Bereich von ≥ 200 µm bis ≤ 80 mm, beispielsweise von ≥ 3 mm bis ≤ 20 mm, zum Beispiel von 2 cm, liegen. Die Anode ist vorzugsweise aus einem möglichst inerten Anodenmaterial, beispielsweise Platin, ausgebildet.

Grundsätzlich ist es im Rahmen der vorliegenden Erfindung möglich Wasser als Elektrolyten einzusetzen.

Vorzugsweise weist der Elektrolyt eine elektrische Leitfähigkeit von mindestens 1 mS/cm, insbesondere von mindestens 5 mS/cm, beispielsweise von mindestens 10 mS/cm, auf.

Um die Leitfähigkeit zu erhöhen, kann der Elektrolyt neben der Protonenquelle mindestens eine weitere Verbindung umfassen, welche teilweise oder vollständig in Ionen dissoziieren kann.

Im Rahmen einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist der Elektrolyt eine wässrige Lösung oder eine Wasser umfassende Emulsion, welche

mindestens eine Verbindung umfasst, die ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus ionischen Flüssigkeiten, organischen Salzen, anorganischen Salzen (Leitsalzen), anorganischen Basen, anorganischen Säuren, Alkoholen, wie Ethanol, organischen Säuren, wie Carbonsäuren, organischen Basen, CH-aciden organischen Verbindungen, wie enolisierbaren Carbonylverbindungen, Acetylen, Cyclopentadien, und Mischungen davon.

Dabei kann unter einer Wasser umfassenden Emulsion sowohl eine Emulsion verstanden werden, welche hauptsächlich Wasser aufweist, als auch eine Emulsion verstanden werden, bei der Wasser nur einen Nebenbestandteil darstellt.

Unter einer ionischen Flüssigkeit kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere ein Salz verstanden werden, welches bereits bei Temperaturen unter 100 °C flüssig ist beziehungsweise schmilzt.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst der Elektrolyt mindestens eine ionische Flüssigkeit. Ionische Flüssigkeiten haben sich als vorteilhaft erwiesen, um die Bildung einer Oxidschicht zu unterdrücken. Zudem weisen die meisten ionische Flüssigkeiten vorteilhafterweise nur einen geringen Dampfdruck auf und sind schlecht oder nicht entflammbar. Aus diesen Gründen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der Elektrolyt als Hauptbestandteil eine ionische Flüssigkeit oder eine Mischung ionischer Flüssigkeiten umfasst. Vorzugsweise umfasst der Elektrolyt von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 99,7 Gew.-%, insbesondere von ≥ 50 Gew.-% bis ≤ 99,5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Elektrolyten, und/oder ≥ 0,5 Vol.-% bis ≤ 99,5 Vol.-%, insbesondere von ≥ 50 Vol.-% bis ≤ 99,3 Vol.-%, bezogen auf das Gesamtvolumen des Elektrolyten, an ionischen Flüssigkeiten. Insbesondere ergibt dabei die Summe der Bestandteile des Elektrolyten, beispielsweise ionischen Flüssigkeiten und Wasser und/oder anorganischen Salzen und/oder Alkoholen, 100 Gewichtsprozent beziehungsweise Volumenprozent. Beispielsweise kann der Elektrolyt von ≥ 0,3 Gew.-% bis ≤ 99,5 Gew.-%, insbesondere von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 50 Gew.-%, an Wasser und von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 99,7 Gew.-%, insbesondere von ≥ 50 Gew.-% bis ≤ 99,5 Gew.-%, ionischen Flüssigkeiten, bezogen auf das Gesamtgewicht des Elektrolyten umfassen, wobei die Summe von Wasser und ionischen Flüssigkeiten 100 Gewichtsprozent ergibt, und/oder von ≥ 0,5 Vol.-% bis ≤ 99,5 Vol.-%, insbesondere von ≥ 0,7 Vol.-% bis ≤ 50 Vol.-%, an Wasser und von ≥ 0,5 Vol.-% bis ≤ 99,5 Vol.-%, insbesondere von ≥ 50 Vol.-% bis ≤ 99,3 Vol.-%, an

ionischen Flüssigkeiten, bezogen auf das Gesamtvolumen des Elektrolyten umfassen, wobei die Summe von Wasser und ionischen Flüssigkeiten 100 Volumenprozent ergibt.

Vorzugsweise weist die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten eine elektrische Leitfähigkeit von mindestens 1 mS/cm, insbesondere von mindestens 5 mS/cm, beispielsweise von mindestens 10 mS/cm, auf.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten eine elektrische Leitfähigkeit in einem Bereich von ≥ 10 mS/cm ≤ 20 mS/cm auf. Eine derartige Leitfähigkeit hat sich zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens als vorteilhaft erwiesen.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten eine Viskosität von weniger als 50 mPa·s, insbesondere gemessen mit einem Rotationsviskosimeter, auf. Eine derartige Viskosität hat sich zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens als vorteilhaft erwiesen.

Vorzugsweise weist die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten eine Schmelztemperatur unterhalb von 50 °C, insbesondere unterhalb von 25 °C oder 20 °C, auf. Insbesondere kann die ionische Flüssigkeit oder die Mischung von ionischen Flüssigkeiten einen Flüssigkeitsbereich von –50 °C bis 500 °C oder 400 °C, beispielsweise von –40 °C bis 350 °C, zum Beispiel von –30 °C bis 300 °C aufweisen. Vorzugsweise weist die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten eine Zersetzungstemperatur von größer 200 °C, insbesondere 250 °C, auf.

Eine verwendbare ionische Flüssigkeit kann lediglich ein Kation und ein Anion, oder mehrere verschiedene Kationen und/oder Anionen aufweisen.

Insbesondere kann eine ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten eingesetzt werden, welche mindestens ein Kation und mindestens ein Anion umfassen. Vorzugsweise wird eine ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten eingesetzt, welche mindestens ein organisches und/oder anorganisches Kation und mindestens ein organisches und/oder anorganisches Anion umfasst. Besonders bevorzugt sind ionische

Flüssigkeiten oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten eingesetzt, welche ein weites elektrochemisches Potentialfenster und eine gute Leitfähigkeit aufweisen.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Anion, welches ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus Halogeniden, Nitrat, Sulfonaten, Imiden, Sulfaten, Tosylaten, Carboxylaten, Boraten, Phosphaten, Phosphinaten, Aluminaten, Thiocyanat, Isothiocyanat, Dicyanamid, Tricyanomethid, Amiden, Antimonaten, Arsenaten und Mischungen davon.

Insbesondere kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Anion umfassen, welches ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus Chlorid, Bromid, Iodid, Fluorid, Nitrat, Alkyl- und Arylsulfonaten, wie Methansulfonat, insbesondere perfluorierte Alkyl- und Arylsulfonaten, wie Trifluormethansulfonat (Triflat) oder Perfluorbutansulfonat, Polyethersulfonaten, Bis(perfluoralkylsulfonyl)imiden, wie Bis(trifluormethylylsulfonyl)imid, Bis(perfluoralkylsulfonyl)amiden, Sulfat, Hydrogensulfat, Alkylsulfaten, wie Methyl- , Ethyl-, n-Propyl-, n-Butyl, n-Hexyl-, Octyl- oder 2-(2-Methoxyethoxy)ethylsulfat, Tosylat, Alkyl- und Arylcarboxylaten, wie Acetat, insbesondere perfluorierten Alkyl- und Arylcarboxylaten, wie Trifluoracetat, Tetrafluoroborat, Tetracyanoborat, Bis[oxalato(2-)]borat, Hexafluorophosphat, Fluoralkylphosphaten, Alkylphosphaten, Tetrachloroaluminat, Heptachloroaluminat, Thiocyanat, Isothiocyanat, Dicyanamid und Tricyanomethid.

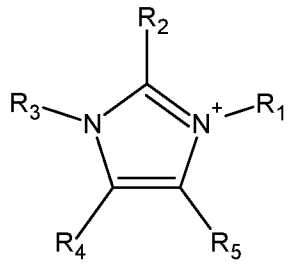
Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Anion, welches ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus Chlorid, Bromid, Iodid, Fluorid, Nitrat, Alkyl- und Arylsulfonaten, wie Methansulfonat, insbesondere perfluorierte Alkyl- und Arylsulfonaten, wie Trifluormethansulfonat (Triflat), Bis(perfluoralkylsulfonyl)imiden, wie Bis(trifluormethylylsulfonyl)imid, und Alkyl- und Arylcarboxylaten, wie Acetat, insbesondere perfluorierten Alkyl- und Arylcarboxylaten, wie Trifluoracetat, insbesondere Chlorid, Nitrat, Trifluormethansulfonat und Acetat.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Kation, welches

ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus Imidazolium-Ionen, Pyrrolidinium-Ionen, Pyridinium-Ionen, Piperidinium-Ionen, Guanidinium-Ionen, Uronium-Ionen, Thiouronium-Ionen, Morpholinium-Ionen, Ammonium-Ionen, Phosphonium-Ionen, Sulfonium-Ionen, Pyrazolium-Ionen, Tetrazolium-Ionen, Thiophenium-Ionen, Trazolium-Ionen und Quinolinium-Ionen.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Kation, welches ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus Imidazolium-Ionen und Pyrrolidinium-Ionen, insbesondere Imidazolium-Ionen.

Insbesondere kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Imidazolium-Ion der allgemeinen Formel (1):



umfassen, wobei

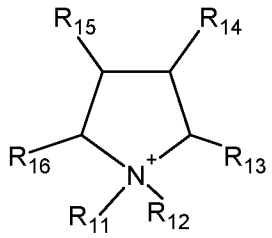
R_1 und R_3 jeweils unabhängig voneinander für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen, und

R_2, R_4 und R_5 jeweils unabhängig voneinander für Wasserstoff oder eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

Insbesondere können dabei R_1 für Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, R_3 für Methyl, und R_2, R_4 und R_5 für Wasserstoff stehen.

Vorzugsweise ist die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten ausgewählt, aus der Gruppe, bestehend aus 1-Ethyl-3-methylimidazolium-trifluoromethanesulfonat, 1-Ethyl-3-methylimidazolium-nitrat, 1-Ethyl-3-methylimidazolium-acetat, 1-Butyl-3-methylimidazolium-chlorid, 1-Allyl-3-methylimidazolium-chlorid und Mischungen davon.

Alternativ oder zusätzlich dazu, kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Pyrrolidinium-Ion der allgemeinen Formel (2):



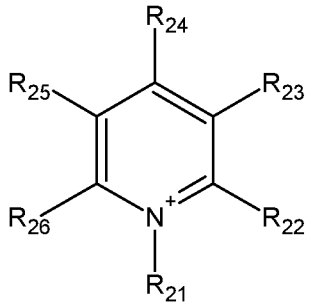
umfassen, wobei

R_{11} und R_{12} jeweils unabhängig voneinander für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen, und

R_{13} bis R_{16} jeweils unabhängig voneinander für Wasserstoff oder eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

Insbesondere können dabei R11 für Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, R_{12} für Methyl, und R_{13} bis R_{16} für Wasserstoff stehen. Zum Beispiel kann es sich dabei um Butylmethylpyrrolidinium handeln.

Alternativ oder zusätzlich dazu, kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Pyrrolidinium-Ion der allgemeinen Formel (3):

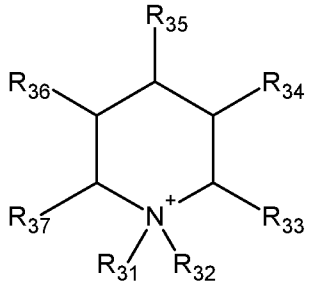


umfassen, wobei

R_{21} für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, steht, und

R_{22} bis R_{26} jeweils unabhängig voneinander für Wasserstoff oder eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

Alternativ oder zusätzlich dazu, kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Piperidinium-Ion der allgemeinen Formel (4):



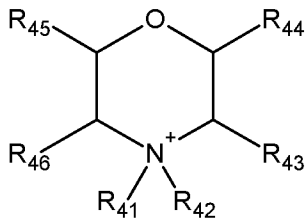
umfassen, wobei

R_{31} und R_{32} jeweils unabhängig voneinander für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen, und

R_{33} bis R_{37} jeweils unabhängig voneinander für Wasserstoff oder eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-,

Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

Alternativ oder zusätzlich dazu, kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Morpholinium-Ion der allgemeinen Formel (5):

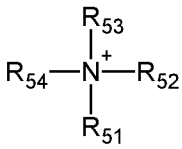


umfassen, wobei

R_{41} und R_{42} jeweils unabhängig voneinander für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen, und

R_{43} bis R_{46} jeweils unabhängig voneinander für Wasserstoff oder eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

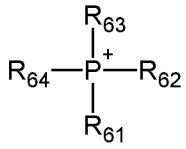
Alternativ oder zusätzlich dazu, kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Ammonium-Ionen der allgemeinen Formel (6):



umfassen, wobei

R_{51} bis R_{54} jeweils unabhängig voneinander für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

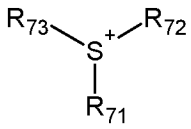
Alternativ oder zusätzlich dazu, kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Phosphonium-Ionen der allgemeinen Formel (7):



umfassen, wobei

R_{61} bis R_{64} jeweils unabhängig voneinander für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

Alternativ oder zusätzlich dazu, kann die ionische Flüssigkeit oder Mischungen ionischer Flüssigkeiten mindestens ein Sulfonium-Ionen der allgemeinen Formel (8):



umfassen, wobei

R_{71} bis R_{73} jeweils unabhängig voneinander für eine substituierte oder unsubstituierte, halogenierte oder nicht halogenierte Alkyl-, Alkenyl-, Alkinyl-, Aryl-, Alkaryl-, Aralkyl-, Hydroxyalkyl- oder Alkoxyalkylgruppe mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen, beispielsweise Methyl, Methyl, Ethyl, n-Propyl, i-Propyl, n-Butyl, i-Butyl, Hexyl, Octyl, Tetradecyl, Benzyl, Allyl, Hydroxymethyl, Hydroxyethyl oder Methoxyethyl, stehen.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst der Elektrolyt mindestens ein anorganisches Salz (Leitsalz). Beispielsweise kann der Elektrolyt Natriumhydrogensulfat und/oder Ammoniumsulfat, insbesondere Natriumhydrogensulfat, umfassen. Zum Beispiel kann der Elektrolyt von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 50 Gew.-%, insbesondere von ≥ 1 Gew.-% bis ≤ 15 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Elektrolyten, an anorganischen Salzen umfassen. Insbesondere ergibt dabei die Summe der Bestandteile des Elektrolyten, beispielsweise anorganischen Salzen und Wasser und/oder ionischen Flüssigkeiten und/oder Alkoholen, 100 Gewichtsprozent. Beispielsweise kann der Elektrolyt von ≥ 99,5 Gew.-% bis ≤ 50 Gew.-%, insbesondere von ≥ 99 Gew.-% bis ≤ 85 Gew.-%, an Wasser

und von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 50 Gew.-%, insbesondere von ≥ 1 Gew.-% bis ≤ 15 Gew.-%, an anorganischen Salzen, bezogen auf das Gesamtgewicht des Elektrolyten umfassen, wobei die Summe von Wasser und anorganischen Salzen 100 Gewichtsprozent ergibt.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst der Elektrolyt mindestens eine anorganische Base. Beispielsweise kann der Elektrolyt mindestens ein Alkalihydroxid, insbesondere Kaliumhydroxid, umfassen.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst der Elektrolyt mindestens eine anorganische Säure. Beispielsweise kann der Elektrolyt Schwefelsäure und/oder Salzsäure umfassen.

Alternativ oder zusätzlich dazu kann der Elektrolyt mindestens eine organische Säure umfassen. Beispielsweise kann der Elektrolyt mindestens eine Carbonsäure umfassen.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst der Elektrolyt mindestens einen Alkohol. Beispielsweise kann der Elektrolyt Ethanol und/oder Methanol, insbesondere Ethanol, umfassen. Zum Beispiel kann der Elektrolyt von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 99,5 Gew.-%, insbesondere von ≥ 5 Gew.-% bis ≤ 25 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Elektrolyten, und/oder ≥ 0,5 Vol.-% bis ≤ 99,7 Vol.-%, insbesondere von ≥ 50 Vol.-% bis ≤ 99,5 Vol.-%, bezogen auf das Gesamtvolumen des Elektrolyten an Alkoholen umfassen. Insbesondere ergibt dabei die Summe der Bestandteile des Elektrolyten, beispielsweise Alkoholen und Wasser und/oder ionischen Flüssigkeiten und/oder anorganischen Salzen, 100 Gewichtsprozent beziehungsweise Volumenprozent. Beispielsweise kann der Elektrolyt von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 99,5 Gew.-%, insbesondere von ≥ 75 Gew.-% bis ≤ 95 Gew.-%, an Wasser und von ≥ 0,5 Gew.-% bis ≤ 99,5 Gew.-%, insbesondere von ≥ 5 Gew.-% bis ≤ 25 Gew.-%, an Alkoholen, bezogen auf das Gesamtgewicht des Elektrolyten umfassen, wobei die Summe von Wasser und Alkoholen 100 Gewichtsprozent ergibt, und/oder von ≥ 0,3 Vol.-% bis ≤ 99,5 Vol.-%, insbesondere von ≥ 0,5 Vol.-% bis ≤ 50 Vol.-%, an Wasser und von ≥ 0,5 Vol.-% bis ≤ 99,7 Vol.-%, insbesondere von ≥ 50 Vol.-% bis ≤ 99,5 Vol.-%, an Alkoholen, bezogen auf das Gesamtvolumen des Elektrolyten umfassen, wobei die Summe von Wasser und Alkoholen 100 Volumenprozent ergibt.

Alternativ oder zusätzlich dazu kann der Elektrolyt mindestens eine CH-acide organische Verbindung umfassen. Beispielsweise kann der Elektrolyt mindestens eine enolisierbare Carbonylverbindung, Acetylen und/oder Cyclopentadien umfassen.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Halbleiterschicht, beispielsweise eine Silizium umfassende Schicht, insbesondere eine Siliziumschicht, welche durch ein erfindungsgemäßes Verfahren erhältlich beziehungsweise behandelt ist.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Gegenstände werden durch die Zeichnungen veranschaulicht und in der nachfolgenden Beschreibung erläutert. Dabei ist zu beachten, dass die Zeichnungen nur beschreibenden Charakter haben und nicht dazu gedacht sind, die Erfindung in irgendeiner Form einzuschränken. Es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Elektrolyseapparatur zur Veranschaulichung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens; und

Fig. 2 IR-Spektren zur Veranschaulichung des, durch das erfindungsgemäße Verfahren erzielten Effekts.

Figur 1 veranschaulicht eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Figur 1 zeigt, dass in einer Elektrolyseapparatur die zu passivierende Halbleiterschicht 1 als Kathode geschaltet wird. Figur 1 illustriert, dass dabei die Halbleiterschicht vollständig in einen, eine Protonenquelle umfassenden Elektrolyten 2 eintaucht. Weiterhin umfasst die Elektrolyseapparatur eine Anode 3. Figur 1 zeigt zudem, dass die Kathode 1 und die Anode 2 parallel zueinander angeordnet sind und gleichgroße Elektrodenflächen aufweisen.

Figur 2 zeigt IR-Spektren einer Siliziumschicht vor (A) und nach (B) der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei auf der y-Achse der Absorptionskoeffizient und auf der x-Achse die Wellenzahl aufgetragen ist.

Die Siliziumschicht wurde dabei dadurch hergestellt, dass 4 Tropfen einer Formulierung aus 0,3 ml oligomerisiertem H-Silan und 0,05 ml Cyclopentasilan in 0,25 ml Cyclooctan auf einen Siliziumdioxid-Wafer mit einer Schichtdicke von 200 nm aufgetropft wurden und anschließend durch Rotationsbeschichten bei 4000 U/min auf dem Wafer verteilt wurden. Auf diese Weise wurde ein Film erhalten, welcher nachfolgend durch eine thermische Behandlung bei 500 °C für

60 Sekunden in eine Siliziumschicht konvertiert wurde. Die erhaltene Siliziumschicht wies eine Schichtdicke von 121 nm auf. An der so erhaltenen Siliziumschicht wurde das IR-Spektrum A gemessen.

In einem Becherglas wurden 100 ml einer Mischung aus 99,2 Gew.-% Butylmethylpyrrolidinium bis(trifluoromrthylsulfonyl)imid und 0,8 Gew.-% Wasser als Protonenquellen umfassender Elektrolyt vorgelegt. In dem Elektrolyten wurde eine Platinelektrode (Elektrodenfläche: 4 cm^2) als Anode und die zuvor hergestellte Siliziumschicht (Elektrodenfläche: 4 cm^2) als Kathode geschaltet. Der Elektrodenabstand betrug 2 cm. Als Stromquelle wurde der Potentiostat Zahner IM6ex eingesetzt. In der Software wurde eine 2-Elektrodenanordnung mit Puffer gewählt. Die Platinanode und die Siliziumkathode wurden mit einer Spannung von 4 Volt beaufschlagt. Dabei stellte sich ein Strom von < 1 mA ein. Die Versuchsdauer betrug 48 Stunden. Die Elektrolyse wurde bei Raumtemperatur (25 °C) durchgeführt, wobei der Elektrolyt mit einem Magnetrührer bei geringer Drehzahl gerührt wurde. An der auf diese Weise erhaltenen, Wasserstoff passivierten Siliziumschicht wurde das IR-Spektrum B gemessen.

Ein Vergleich der IR-Spektren A und B, insbesondere der Peaks bei einer Wellenzahl von 2000 cm^{-1}, zeigt, dass durch das erfindungsgemäße Verfahren Wasserstoff in die Siliziumschicht eingelagert wurde.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Wasserstoffpassivierung von Halbleiterschichten, wobei die zu passivierende Halbleiterschicht (1) elektrochemisch passiviert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend die Verfahrensschritte:
   - Einsetzen der zu passivierenden Halbleiterschicht (1) als Kathode in eine Elektrolyseapparatur mit einer Anode (3) und einem, eine Protonenquelle enthaltenden Elektrolyten (2), und
   - Anlegen einer Elektrolysespannung an die Halbleiterschicht (1) und die Anode (3).

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Protonenquelle Wasser umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Elektrolysespannung derart angelegt wird, dass an der Halbleiterschicht (1) Protonen, insbesondere der Protonenquelle, reduziert werden und/oder Wasserstoff gebildet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die zu passivierende Halbleiterschicht (1) eine Silizium umfassende Schicht, insbesondere eine Siliziumschicht, ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Verfahren bei einer Temperatur von ≥ 25 °C bis ≤ 500 °C, insbesondere von ≥ 25 °C bis ≤ 250 °C, durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei das Verfahren weiterhin den Verfahrensschritt:
   - Nachführen der verbrauchten Protonenquellenmenge während der Elektrolyse, umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei der Elektrolyt eine wässrige Lösung oder eine Wasser umfassende Emulsion ist, welche mindestens eine Verbindung umfasst, die ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus ionischen Flüssigkeiten, organischen Salzen, anorganischen Salzen (Leitsalzen), anorganischen Basen,

anorganischen Säuren, Alkoholen, organischen Säuren, organischen Basen, CH-aciden organischen Verbindungen und Mischungen davon.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8, wobei der Elektrolyt
- mindestens eine ionische Flüssigkeit, und/oder
- mindestens ein anorganisches Salz, und/oder
- mindestens eine anorganische Base, und/oder
- mindestens eine anorganische Säure, und/oder
- mindestens einen Alkohol,

umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten eine elektrische Leitfähigkeit in einem Bereich von ≥ 10 mS/cm ≤ 20 mS/cm, aufweist.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten eine Viskosität von weniger als 50 mPa·s aufweist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten mindestens
- ein Anion, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Halogeniden, Nitrat, Sulfonaten, Imiden, Sulfaten, Tosylaten, Carboxylaten, Boraten, Phosphaten, Phosphinaten, Aluminaten, Thiocyanat, Isothiocyanat, Dicyanamid, Tricyanomethid, Amiden, Antimonaten, Arsenaten und Mischungen davon, und
- mindestens ein Kation, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Imidazolium-Ionen, Pyrrolidinium-Ionen, Pyridinium-Ionen, Piperidinium-Ionen, Guanidinium-Ionen, Uronium-Ionen, Thiouronium-Ionen, Morpholinium-Ionen, Ammonium-Ionen, Phosphonium-Ionen, Sulfonium-Ionen, Pyrazolium-Ionen, Tetrazolium-Ionen, Thiophenium-Ionen, Trazolium-Ionen und Quinolinium-Ionen,

umfasst.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei die ionische Flüssigkeit oder die Mischung ionischer Flüssigkeiten mindestens

- ein Anion, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Chlorid, Bromid, Iodid, Fluorid, Nitrat, Alkyl- und Arylsulfonaten, Bis(perfluoralkylsulfonyl)imiden und Alkyl- und Arylcarboxylaten, insbesondere Chlorid, Nitrat, Trifluormethansulfonat und Acetat, und
- mindestens ein Kation, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Imidazolium-Ionen und Pyrrolidinium-Ionen, insbesondere Imidazolium-Ionen,

umfasst.

14. Halbleiterschicht, erhältlich durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13.

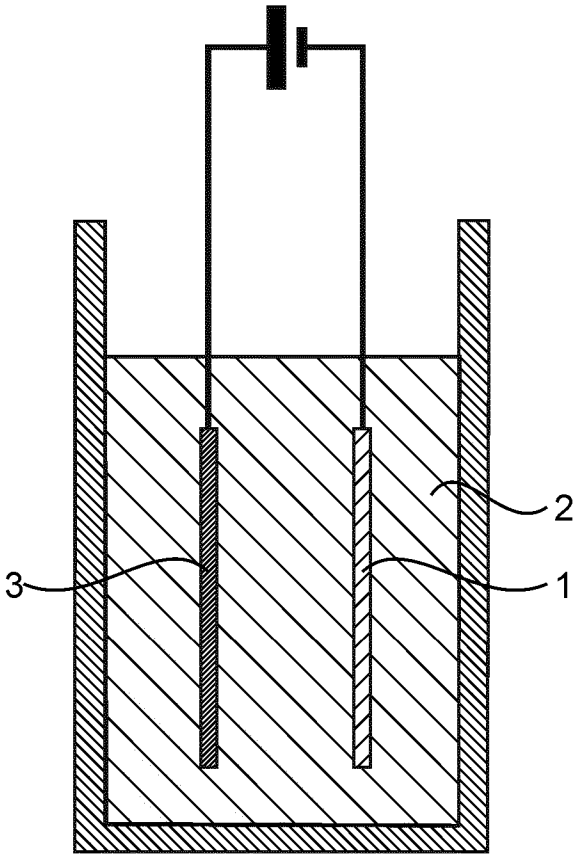


Fig. 1

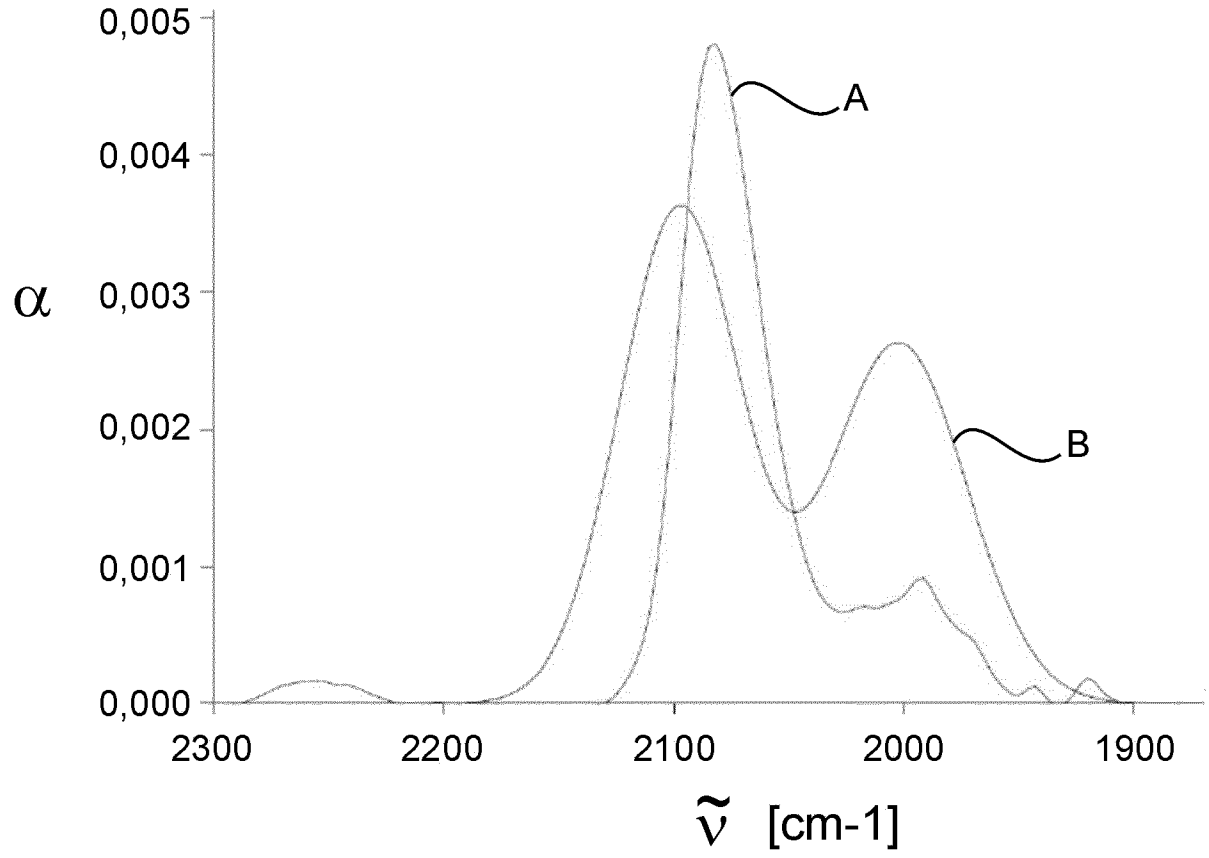

0,005
0,004
0,003
0,002
0,001
0,000
α
A
B
2300
2200
2100
2000
1900
ν̃ [cm-1]

Fig. 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/067620

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L21/30 H01L21/46 H01L31/18
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	RAPPICH J ET AL: "IN SITU MONITORING OF ELECTROCHEMICAL PROCESSES AT THE (100) P-SI/AQUEOUS NH4F ELECTROLYTE INTERFACE BY PHOTOLUMINESCENCE", JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, ELECTROCHEMICAL SOCIETY. MANCHESTER, NEW HAMPSHIRE, US, vol. 144, no. 2, 1 July 1997 (1997-07-01), pages 493-496, XP001194581, ISSN: 0013-4651 pages 494-496 ----- -/--	1-14

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [ ] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
31 January 2012	14/02/2012

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gélébart, Jacques

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MANDAL K C ET AL: "In situ infrared evidence for the electrochemical incorporation of hydrogen into Si and Ge", APPLIED PHYSICS LETTERS USA, vol. 57, no. 26, 24 December 1990 (1990-12-24), pages 2788-2790, XP002668317, ISSN: 0003-6951 the whole document	1-6,8,9, 14
X	DE MIERRY P ET AL: "Electrolytic hydrogenation of p-type silicon bulk and surface modifications", PHYSICA B. CONDENSED MATTER, AMSTERDAM, NL, vol. 170, no. 1-4, 1 April 1991 (1991-04-01), pages 124-128, XP024446173, ISSN: 0921-4526, DOI: 10.1016/0921-4526(91)90113-S [retrieved on 1991-04-01] page 124	1-6,8,9, 14
X	DE MIERRY P ET AL: "Photocathodic hydrogenation of p-type silicon", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS USA, vol. 69, no. 2, 15 January 1991 (1991-01-15), pages 1099-1101, XP002668318, ISSN: 0021-8979 page 1099	1-6,8,9, 14
X	RAGHAVAN M N V ET AL: "ENHANCED ROOM TEMPERATURE MOBILITIES AND REDUCED PARALLEL CONDUCTION IN HYDROGEN PASSIVATED SI/SIGE HETEROSTRUCTURES", SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, IOP PUBLISHING LTD, GB, vol. 13, no. 11, 1 November 1998 (1998-11-01), pages 1317-1321, XP000783145, ISSN: 0268-1242, DOI: 10.1088/0268-1242/13/11/016 page 1318	1-6,8,9, 14
X	RAPPICH J ET AL: "In situ Fourier transform infrared investigation on the electrolytic hydrogenation of n-silicon (111)", JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY USA, vol. 142, no. 4, April 1995 (1995-04), pages 1233-1237, XP002668319, ISSN: 0013-4651 page 1234	1-5,7-9, 14

-/--

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	"Reduced interface state density after photocurrent oscillations and electrochemical hydrogenation of n-Si(111): A surface photovoltage investigation", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 66, no. 22, 29 May 1995 (1995-05-29), pages 3018-3020, XP012012927, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.114263 page 3018	1-9,14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2011/067620

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L21/30 H01L21/46 H01L31/18
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	RAPPICH J ET AL: "IN SITU MONITORING OF ELECTROCHEMICAL PROCESSES AT THE (100) P-SI/AQUEOUS NH4F ELECTROLYTE INTERFACE BY PHOTOLUMINESCENCE", JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, ELECTROCHEMICAL SOCIETY. MANCHESTER, NEW HAMPSHIRE, US, Bd. 144, Nr. 2, 1. Juli 1997 (1997-07-01), Seiten 493-496, XP001194581, ISSN: 0013-4651 Seiten 494-496	1-14

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [ ] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
31. Januar 2012	14/02/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gélébart, Jacques

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	MANDAL K C ET AL: "In situ infrared evidence for the electrochemical incorporation of hydrogen into Si and Ge", APPLIED PHYSICS LETTERS USA, Bd. 57, Nr. 26, 24. Dezember 1990 (1990-12-24), Seiten 2788-2790, XP002668317, ISSN: 0003-6951 das ganze Dokument	1-6,8,9, 14
X	DE MIERRY P ET AL: "Electrolytic hydrogenation of p-type silicon bulk and surface modifications", PHYSICA B. CONDENSED MATTER, AMSTERDAM, NL, Bd. 170, Nr. 1-4, 1. April 1991 (1991-04-01), Seiten 124-128, XP024446173, ISSN: 0921-4526, DOI: 10.1016/0921-4526(91)90113-S [gefunden am 1991-04-01] Seite 124	1-6,8,9, 14
X	DE MIERRY P ET AL: "Photocathodic hydrogenation of p-type silicon", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS USA, Bd. 69, Nr. 2, 15. Januar 1991 (1991-01-15), Seiten 1099-1101, XP002668318, ISSN: 0021-8979 Seite 1099	1-6,8,9, 14
X	RAGHAVAN M N V ET AL: "ENHANCED ROOM TEMPERATURE MOBILITIES AND REDUCED PARALLEL CONDUCTION IN HYDROGEN PASSIVATED SI/SIGE HETEROSTRUCTURES", SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, IOP PUBLISHING LTD, GB, Bd. 13, Nr. 11, 1. November 1998 (1998-11-01), Seiten 1317-1321, XP000783145, ISSN: 0268-1242, DOI: 10.1088/0268-1242/13/11/016 Seite 1318	1-6,8,9, 14
X	RAPPICH J ET AL: "In situ Fourier transform infrared investigation on the electrolytic hydrogenation of n-silicon (111)", JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY USA, Bd. 142, Nr. 4, April 1995 (1995-04), Seiten 1233-1237, XP002668319, ISSN: 0013-4651 Seite 1234	1-5,7-9, 14

-/--

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	"Reduced interface state density after photocurrent oscillations and electrochemical hydrogenation of n-Si(111): A surface photovoltage investigation", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, Bd. 66, Nr. 22, 29. Mai 1995 (1995-05-29), Seiten 3018-3020, XP012012927, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.114263 Seite 3018 -----	1-9,14