

(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
30. November 2017 (30.11.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/202907 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B81C 1/00 (2006.01) H05B 3/14 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/062537

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Mai 2017 (24.05.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 208 970.6
24. Mai 2016 (24.05.2016) DE

(71) Anmelder: ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Post-
fach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: NAGEL, Sabine; Haeldenstr. 93, 71732 Tamm (DE). RUSANOV, Radoslav; Wilhelm-Kopf-Strasse 1, 71672 Marbach Am Neckar (DE).

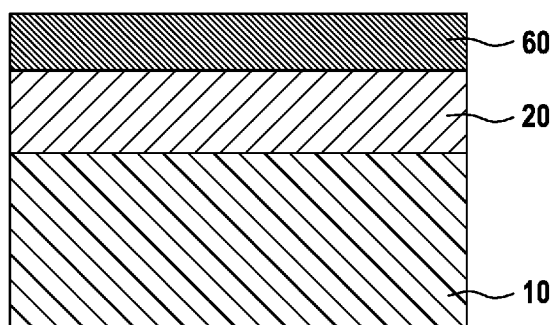
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING AN ELECTROMIGRATION-RESISTANT CRYSTALLINE TRANSITION METAL-SILICIDE LAYER, CORRESPONDING LAYER SEQUENCE, AND MICRO-HEATER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HERSTELLEN EINER ELEKTROMIGRATION-RESISTENTEN KRISTALLINEN ÜBERGANGSMETALL-SILIZIDSCHICHT, ENTSPRECHENDE SCHICHTENFOLGE UND MIKRO-HEIZER

Fig. 3b



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing an electromigration-resistant crystalline transition metal-silicide layer, to a layer sequence, and to a micro-heater. In step A of the method, a semiconductor substrate having an electrically insulating layer is provided. In step B of the method, a transition metal is physically separated on the electrically insulating layer. In step C of the method, a plasma-supported gas phase separation is carried out, forming an inert gas plasma. In step D of the method, monosilane is supplied to the inert gas plasma, wherein the monosilane decomposes into silicon and hydrogen and the silicon in the gas phase enters a chemical reaction with the transition metal to form the electromigration-resistant crystalline transition metal-silicide layer.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung schafft ein Verfahren zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht, eine Schichtenfolge und einen Mikro-Heizer. Im Schritt A des Verfahrens wird ein Halbleitersubstrat mit einer elektrisch isolierenden Schicht bereitgestellt. Im Schritt B des Verfahrens wird ein Übergangsmetall auf die elektrisch isolierende Schicht physikalisch abgeschieden. Im Schritt C des Verfahrens wird eine plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung unter Ausbilden eines Inert-Gas-Plasmas durchgeführt. Im Schritt D des Verfahrens wird in das Inert-Gas-Plasma Monosilan zugeleitet, wobei das Monosilan in Silizium und Wasserstoff zerfällt und das Silizium in Gasphase mit dem Übergangsmetall eine chemische Reaktion zum Ausbilden der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht eingeht.



WO 2017/202907 A1

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

5 Beschreibung

Verfahren zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen
Übergangsmetall-Silizidschicht, entsprechende Schichtenfolge und Mikro-Heizer

10 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer
Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht, eine
entsprechende Schichtenfolge und einen Mikro-Heizer.

Stand der Technik

15 Mikroelektromechanische Vorrichtungen auf Metalloxid-Basis, insbesondere
Sensoren, mit einem Mikro-Heizer werden typischerweise für die Detektion und
Quantifizierung von unterschiedlichen Gasen eingesetzt. Derartige Gassensoren
benötigen für ihre Funktion typischerweise Temperaturen von mindestens 400°C.

20 Gassensoren auf MEMS-Basis mit Mikro-Heizern werden typischerweise
insbesondere durch eine Siliziumdioxid/-Nitrid Membran realisiert, wobei
derartige Mikro-Heizer eine Übergangsmetallschicht aufweisen. Eine typische
Übergangsmetallschicht, welche in derartigen Mikro-Heizern zum Einsatz kommt,
25 kann Platin sein. Ferner kommen derartige Mikro-Heizer in Abgassensoren
(Rußpartikel-Sensor, Lambda-Sonde) zum Einsatz, wobei diese bei
Temperaturen von über 700°C ausgesetzt werden können.

30 Ferner werden im Rahmen einer fortschreitenden Miniaturisierung immer höhere
Ansprüche an die Zuverlässigkeit derartiger Mikro-Heizer, insbesondere an die
Übergangsmetallschicht, gestellt. Somit ist insbesondere Elektromigration ein
besonders relevanter Schädigungsmechanismus, der aufgrund von
materialspezifischen Eigenschaften zu einem schnellen Ausfall entsprechender
35 Mikro-Heizer führen kann, da durch die Elektromigration die
Übergangsmetallschicht beschädigt wird.

Aus der EP 0 375 399 ist ein Sensor mit einer Mikrobrücke bekannt, auf der ein Hezelement aus Platin angeordnet ist.

5 Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht nach Anspruch 1, eine Schichtenfolge nach Anspruch 9 und einem Mikro-Heizer nach Anspruch 11.

Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

Vorteile der Erfindung

15 Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee liegt insbesondere darin, eine Übergangsmetallschicht durch ein modifiziertes Verfahren weiterzuentwickeln. Durch das hier beschriebene Verfahren wird eine Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht bereitgestellt, die ferner hochtemperaturstabil sein kann und zum Einsatz in Mikro-Heizern für beispielsweise miniaturisierte MEMS-Sensoren geeignet ist.

25 Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht bereitgestellt. Das Verfahren umfasst im Schritt A ein Bereitstellen eines Halbleitersubstrats mit einer elektrisch isolierenden Schicht. Beispielsweise kann das Halbleitersubstrat ein Silizium oder Siliziumcarbid umfassen. Die hier beschriebene elektrisch isolierende Schicht kann insbesondere eine Oxidschicht des Halbleitersubstrats sein. Beispielsweise kann das Halbleitersubstrat Silizium und die elektrisch isolierende Schicht Siliziumdioxidschicht umfassen.

30 Insbesondere kann das Halbleitersubstrat einkristallines Silizium umfassen. Alternativ kann die elektrisch isolierende Schicht ein Material umfassen, das von dem Material des Halbleitersubstrats verschieden ist.

Im Schritt B des Verfahrens wird ein Übergangsmetall auf die elektrisch isolierende Schicht physikalisch abgeschieden. Unter dem Begriff „physikalisches Abscheiden“ wird eine physikalische Gasphasenabscheidung verstanden. Hierbei wird anders als bei Verfahren der chemischen Gasphasenabscheidung mit Hilfe physikalischer Verfahren das Übergangsmetall in die Gasphase überführt, also nicht aufgedampft. Das Übergangsmetall in Gasphase wird anschließend auf die elektrisch isolierende Schicht abgelagert, angeordnet oder kondensiert. So lässt sich insbesondere eine hochtemperaturstabile Übergangsmetallschicht auf der elektrisch isolierenden Schicht bereitstellen. Das physikalisch abgeschiedene Übergangsmetall kann insbesondere zum Einsatz bei Temperaturen über 700°C geeignet sein und weist einen entsprechend niedrigen spezifischen Widerstand auf.

Im Schritt C wird unter Ausbildung eines Inert-Gas-Plasmas eine plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung durchgeführt. Bei dieser Art von chemischer Gasphasenabscheidung wird die chemische Abscheidung durch ein Inert-Gas-Plasma unterstützt. Das hier beschriebene Inert-Gas-Plasma kann direkt bei dem zu beschichtenden Übergangsmetall gezündet oder erzeugt werden.

Im Schritt D des Verfahrens wird Monosilan (SiH_4) in das Inert-Gas-Plasma zugeleitet, wobei das Monosilan (SiH_4) in Silizium und Wasserstoff zerfällt und das Silizium in Gasphase mit dem Übergangsmetall eine chemische Reaktion zum Ausbilden der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht eingeht. Das heißt, dass das Silizium in der Gasphase in das Übergangsmetall diffundiert. Bei der chemischen Reaktion zum Ausbilden der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht handelt es sich um eine selbstabschließende chemische Reaktion. Das heißt, die chemische Reaktion, insbesondere Diffusion, stoppt wenn das Übergangsmetall mit dem Silizium in der Gasphase vollständig zu der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht übergegangen ist. Danach kann sich alternativ mittels des überschüssigen Siliziums in der Gasphase amorphes Silizium auf der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht ausbilden, ablagern oder abscheiden. Alternativ kann das Übergangsmetall in der Elektromigration-resistenten kristallinen

Übergangsmetall-Silizidschicht bereichsweise verbleiben, wenn die selbstabschließende chemische Reaktion vorzeitig beendet wird. Das verbleibende Übergangsmetall kann auf einer der elektrisch isolierenden Schicht zugewandten Seite der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht ausgebildet sein.

Das Ausbilden des amorphen Siliziums bzw. der amorphen Siliziumschicht kann durch Regulieren entsprechender Prozessparameter, insbesondere Prozesszeit, während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung so eingestellt werden, dass nach Ausbilden der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht die plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung stoppt.

Die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht kann Kristalle mit einer durchschnittlichen Korngröße zwischen 100 nm und 200 nm umfassen.

Im Folgenden wird unter "Übergangsmetall-Silizidschicht" die hier beschriebene Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht verstanden.

Die Übergangsmetall-Silizidschicht kann insbesondere bei Temperaturen von über 700°C eingesetzt werden und weist einen entsprechend niedrigen spezifischen Widerstand auf, wodurch die Übergangsmetall-Silizidschicht in Mikro-Heizern für Betriebsspannungen zwischen 0,5 Volt und 12 Volt beispielsweise geeignet sein kann.

Die hier beschriebenen materialspezifischen Eigenschaften der Übergangsmetall-Silizidschicht basieren insbesondere auf eine Kombination der Verfahrensschritte B, C und D in der hier beschriebenen Verfahrensreihenfolge.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung umfasst das Übergangsmetall Platin. Beispielsweise kann das Übergangsmetall ausschließlich aus physikalisch abgeschiedenen bzw. gesputterten Platin bestehen. Durch das hier beschriebene Verfahren wird somit eine Elektromigration-resistente kristalline Platin-Silizidschicht bereitgestellt, die aufgrund der hier beschriebenen einzelnen

Verfahrensschritte einen höheren spezifischen Widerstand als reines Platin aufweist, jedoch durch die Elektromigrationsresistenz und Hochtemperaturstabilität besonders zum Einsatz in Micro-Heizern in MEMS Sensoren geeignet ist.

5 Das Übergangsmetall kann ferner insbesondere Ruthenium, Rhodium, Palladium und/oder Iridium und deren Legierungen umfassen.

10 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird das Inert-Gas-Plasma durch Zünden von Argon erzeugt. So lässt sich ein stabiles Argon-Plasma während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung bereitstellen, wodurch sich ein Verbrauch an Monosilan zum Ausbilden der Übergangsmetall-Silizidschicht reduziert, insbesondere stark reduziert.

15 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird das physikalische Abscheiden des Übergangsmetalls mittels DC-Magnetronspütern durchgeführt. So lässt sich eine besonders Elektromigration-resistente und hochtemperaturstabile Übergangsmetallschicht auf die elektrisch isolierende Schicht abscheiden. Eine mittels DC-Magnetronspütern abgeschiedene Schicht umfassend das Übergangsmetall kann insbesondere bei Temperaturen von
20 höher als 700°C in Betrieb genommen werden.

25 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung ein im Wesentlichen auf das Inert-Gas-Plasma zurückführbarer Kammerdruck zwischen 1,5 Torr und 2,5 Torr eingestellt. Bevorzugt kann der Kammerdruck 2,0 Torr betragen. So lässt sich die Zufuhr von Monosilan zum Ausbilden der Übergangsmetall-Silizidschicht reduzieren.

30 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung eine Temperatur zwischen 700°C und 900°C eingestellt. So lässt sich die chemische Reaktion zum Ausbilden der Übergangsmetall-Silizidschicht besonders homogene durchführen und die Stabilität der entsprechenden Schicht wird erhöht.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht bei einer Temperatur größer als 900°C getempert. So kann die Temperaturstabilität der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht zusätzlich erhöht werden.

5

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird im Schritt D zusätzlich Distickstoffmonoxid (N_2O) zugeführt wird, wodurch die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht eine erhöhte Porosität aufweist. So lässt sich der spezifische Widerstand der Übergangsmetall-Silizidschicht zusätzlich erhöhen. Ferner kann aufgrund der erhöhten Porosität eine höhere Piezoresistivität in der Übergangsmetall-Silizidschicht erzielt werden. Die derart hergestellte Übergangsmetall-Silizidschicht kann insbesondere in Drucksensoren Anwendung finden.

10

Mit dem hier beschriebenen Verfahren können Übergangsmetall-Silizidschichten mit Dicken größer als 500 nm hergestellt werden. Nachdem das Silizium in der Gasphase vollständig mit dem physikalisch abgeschiedenen Übergangsmetall, beispielsweise Platin, chemisch reagiert hat, kann sich insbesondere ohne Vakuumbruch in der Reaktionskammer eine Siliziumdioxidschicht sofort als Passivierung auf der Übergangsmetall-Silizidschicht, beispielsweise Platin-Silizidschicht, ausbilden.

15

20

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Schichtenfolge, die durch das hier beschriebene Verfahren hergestellt wird.

25

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung einen Mikro-Heizer mit der nach dem hier beschriebenen Verfahren hergestellten Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht, wobei eine Strukturierung der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht durch Ionenstrahlätzen mit einer fotolithographischen Maske erfolgen kann. Der Mikro-Heizer kann insbesondere in mikroelektromechanischen Vorrichtungen, beispielsweise MEMS-Sensoren, Einsatz finden.

30

35

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand von Ausführungsformen mit Bezug auf die Figuren erläutert.

5

Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Reaktionskammer zum Durchführen eines Verfahrens zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht;
- Fig. 2 eine schematische Querschnittsdarstellung eines Schichtstapels, welcher während eines Verfahrens zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht bereitgestellt bzw. hergestellt wird, gemäß einer ersten Ausführungsform;
- Fig. 3a, 3b schematische Querschnittsdarstellungen eines Schichtstapels basierend auf einem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform;
- Fig. 4a, 4b schematische Querschnittsdarstellungen eines Schichtstapels basierend auf einem Verfahren gemäß einer zweiten Ausführungsform; und
- Fig. 5 schematische Draufsicht auf eine mikroelektromechanische Vorrichtung mit einem Mikro-Heizer basierend auf einem Schichtstapel gemäß einer der hier beschriebenen Ausführungsformen.

30

Ausführungsformen der Erfindung

In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente.

35

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Reaktionskammer zum Durchführen eines Verfahrens zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht.

5

In Fig. 1 bezeichnet das Bezugszeichen K1 die Reaktionskammer in welcher das Verfahren zum Herstellen der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht 60 durchgeführt werden kann. In der Fig.1 ist die Übergangsmetall-Silizidschicht 60 nicht gezeigt, da in Fig. 1 ein Initialzustand eines Inert-Gas-Plasmas 40 illustriert ist. Das heißt, dass in der Fig. 1 insbesondere eine chemische Reaktion zwischen Silizium 51 in Gasphase und dem Übergangsmetall 30 noch nicht erfolgt ist. In dem Inert-Gas-Plasma 40 ist das Monosilan 50 bereits in seine Komponenten Silizium 51 und Wasserstoff 52 zerfallen. Das Monosilan 50 kann über eine Zufuhröffnung Z1 der Reaktionskammer K1 zugeleitet werden. Überschüssiges Monosilan bzw. Komponenten des Inert-Gas Plasmas können über Auslassöffnungen A1 aus der Reaktionskammer K1 abgeführt bzw. abgepumpt werden. Um das Inert-Gas-Plasma zu zünden kann ein Hochfrequenzgenerator I1 eingeschaltet werden.

10

15

20

Die Reaktionskammer weist einen Halter C1 auf, wobei auf dem Halter C1 ein Halbleitersubstrat 10 mit einer elektrisch isolierenden Schicht 20 angeordnet sind (siehe Fig. 2). Auf der elektrisch isolierenden Schicht 20 ist ein physikalisch abgeschiedenes Übergangsmetall 30 bzw. eine physikalisch abgeschiedene Übergangsmetallschicht 30 angeordnet.

25

Fig. 2 zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung eines Schichtstapels, welcher während eines Verfahrens zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht bereitgestellt bzw. hergestellt wird gemäß einer ersten Ausführungsform.

30

Im Schritt A des Verfahrens wird das Halbleitersubstrat 10 mit einer elektrisch isolierenden Schicht 20 bereitgestellt. Im Schritt B des Verfahrens wird ein Übergangsmetall 30 auf die elektrisch isolierende Schicht 20 physikalisch abgeschieden. Im Schritt C des Verfahrens wird eine plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung unter Ausbilden eines Inert-Gas-Plasmas 40

35

durchgeführt. Im Schritt D des Verfahrens wird in das Inert-Gas-Plasma 40 Monosilan 50 zugeleitet, wobei das Monosilan 50 in Silizium 51 und Wasserstoff 52 zerfällt und das Silizium 51 in Gasphase mit dem Übergangsmetall 30 eine chemische Reaktion zum Ausbilden der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht 60 eingeht.

Fig. 3a, 3b zeigen schematische Querschnittsdarstellungen eines Schichtstapels basierend auf einem Verfahren gemäß der ersten Ausführungsform.

Fig. 3a zeigt ein Ergebnis der Übergangsmetall-Silizidschicht 60 Herstellung: nachdem das Übergangsmetall 30 bzw. die Übergangsmetallschicht 30 mit dem Silizium 51 in Gasphase vollständig reagiert hat. Nachfolgend kann auf die Übergangsmetall-Silizidschicht 60 eine amorphe Siliziumschicht 55 auf Basis des Siliziums 51 in der Gasphase auf die Übergangsmetall-Silizidschicht 60 abgeschieden werden. Dies erfolgt insbesondere bei Aufrechterhaltung des Vakuums in der Reaktionskammer K1. Das amorphe Silizium 55 bzw. die amorphe Siliziumschicht 55 kann entweder weggeätzt werden oder eine Prozesszeit während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung kann so eingestellt werden, dass das Verfahren zum Herstellen der Übergangsmetall-Silizidschicht 60 beendet wird, kurz bevor das Übergangsmetall 30 verbraucht ist, so dass kein amorphes Silizium entsteht (siehe Fig. 3b).

Eine mögliche Ausführung des Verfahrens zum Herstellen der Übergangsmetall-Silizidschicht 60:

- Anlage: Oxford PL100 PECVD Reaktor
- Druck/Temperatur: 2 Torr / 800°C
- Inert-Gas-Plasma-Leistung: 50W
- Monosilan(SiH₄)-Fluss / Argon-Fluss: 14 sccm / 500 sccm
- Dauer: 10 Minuten

Fig. 4a, 4b zeigen schematische Querschnittsdarstellungen eines Schichtstapels basierend auf einem Verfahren gemäß einer zweiten Ausführungsform.

In Fig. 4a wird nach dem Ausbilden der Übergangsmetall-Silizidschicht 60 Distickstoffmonoxid (N_2O) in die Reaktionskammer K1 geleitet, wodurch sich auf der Übergangsmetall-Silizidschicht 60 eine Siliziumdioxidschicht 65 bzw. Siliziumdioxid 65 ausbildet. Die Siliziumdioxidschicht 65 kann als Passivierung fungieren. Wird Distickstoffmonoxid während dem Ausbilden der Übergangsmetall-Silizidschicht 60 in die Reaktionskammer K1 geleitet bzw. dem Inert-Gas Plasma 40 zugeführt so weist die Übergangsmetall-Silizidschicht 60 eine Porosität P1 auf. Die Siliziumdioxidschicht 65 scheidet sich automatisch ab, nachdem das Übergangsmetall 30 verbraucht ist. Die Siliziumdioxidschicht 65 kann entweder weggeätzt werden oder eine Prozesszeit während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung kann so eingestellt werden, dass das Verfahren zum Herstellen der Übergangsmetall-Silizidschicht 60 beendet wird, kurz bevor das Übergangsmetall 60 verbraucht ist, so dass keine Siliziumdioxidschicht 65 entsteht.

Eine mögliche Ausführung des Verfahrens zum Herstellen der Übergangsmetall-Silizidschicht 60:

- Anlage: Oxford PL100 PECVD Reaktor
- Druck/Temperatur: 2 Torr / 800°C
- Inert-Gas-Plasma-Leistung: 50W
- Monosilan(SiH_4)-Fluss / N_2O -Fluss / Argon-Fluss: 14 sccm / 233 sccm / 500 sccm
- Dauer: 14 Minuten

Fig. 5 zeigt eine schematische Draufsicht auf eine mikroelektromechanische Vorrichtung mit einem Mikro-Heizer basierend auf einem Schichtstapel gemäß einer der hier beschriebenen Ausführungsformen.

Das Bezugszeichen S1 der Fig. 5 bezeichnet eine mikroelektromechanische Vorrichtung, beispielsweise einen MEMS-Sensor. Die mikroelektromechanische Vorrichtung S1 umfasst einen Mikro-Heizer H1 mit der nach dem hier beschriebenen Verfahren hergestellten Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht 60, wobei eine Strukturierung der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht 60 durch Ionenstrahlätzen mit einer fotolithographischen Maske erfolgen kann. Der hier

beschriebene Mikro-Heizer H1 weist eine sehr geringe Elektromigration auf und ist hochtemperaturstabil. Diese materialspezifischen Eigenschaften des Mikroheizers basieren auf das hier beschriebene Verfahren zum Herstellen der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht 60.

5

Ein Einsatz der mikroelektromechanische Vorrichtung S1 mit dem Mikro-Heizer H1 mit der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht 60 ist beispielsweise in folgenden Produkten möglich:

10

- als Element eines Gas-Sensormoduls in einem Smartphone/Tablett;
- als Gas-Sensorelement in einem „stand-alone“ Accessory z.B. mit Bluetooth Verbindung zum Smartphone;
- als Sensorelement in einem Smart-Home-Sensor-Element für Heimapplikationen;
- als Sensorelement in weiteren Sensorknoten Anwendungen;
- in einem MEMS-basierten Lambda-Sensor für Automotive-Anwendungen;
- generell in MEMS-Elementen, welche einen Dünnschicht-Heizer benötigen; und/oder
- in einem anderen Sensor, welcher eine piezo-resistive Schicht braucht (z.B. Drucksensor).

15

20

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben worden ist, ist sie darauf nicht beschränkt. Insbesondere sind die genannten Werte und Anordnungen nur beispielhaft und nicht auf die erläuternden Beispiele beschränkt.

25

5 Ansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht (60) mit den Schritten:

10

A) Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (10) mit einer elektrisch isolierenden Schicht (20);

15

B) physikalisches Abscheiden eines Übergangsmetalls (30) auf die elektrisch isolierende Schicht (20);

C) Durchführen einer plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung unter Ausbilden eines Inert-Gas-Plasmas (40); und

20

D) Zuleiten von Monosilan (SiH_4) (50) in das Inert-Gas-Plasma (40), wobei das Monosilan (50) in Silizium (51) und Wasserstoff (52) zerfällt und das Silizium (51) in Gasphase mit dem Übergangsmetall (30) eine chemische Reaktion zum Ausbilden der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht (60) eingeht.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Übergangsmetall (30) Platin umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Inert-Gas-Plasma (40) durch Zünden von Argon erzeugt wird.

30

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das physikalische Abscheiden des Übergangsmetalls (30) mittels DC-Magnetronspütern durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung ein im Wesentlichen auf das Inert-Gas-Plasma (40) zurückführbarer Kammerdruck zwischen 1,5 Torr und 2,5 Torr eingestellt wird.

5

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei während der plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung eine Temperatur zwischen 700°C und 900°C eingestellt wird.

10

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht (60) bei einer Temperatur größer als 900°C getempert wird.

15

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Schritt D zusätzlich Distickstoffmonoxid (N₂O) (70) zugeführt wird, wodurch die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht (60) eine erhöhte Porosität (P1) aufweist.

20

9. Schichtenfolge umfassend die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht (60) nach Anspruch 1.

25

10. Sensor, insbesondere ein Gassensor oder ein Lambdasensor oder ein MEMS-Sensor oder ein Drucksensor, umfassend die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht (60) nach Anspruch 1.

11. Sensor nach Anspruch 10, wobei die Elektromigration-resistente kristalline Übergangsmetall-Silizidschicht (60) als Mikro-Heizer (H1) ausgebildet ist.

30

12. Sensor nach Anspruch 11, wobei der Mikro-Heizer (H1) durch eine Strukturierung der Elektromigration-resistenten kristallinen Übergangsmetall-Silizidschicht (60) ausgebildet ist, insbesondere durch Ionenstrahlätzen mit einer fotolithographischen Maske.

Fig. 1

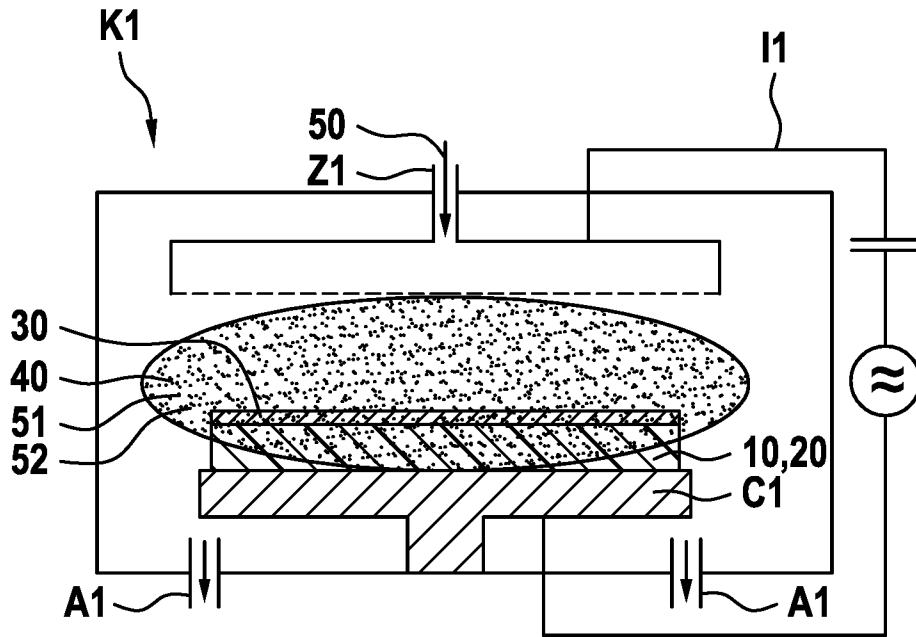


Fig. 2

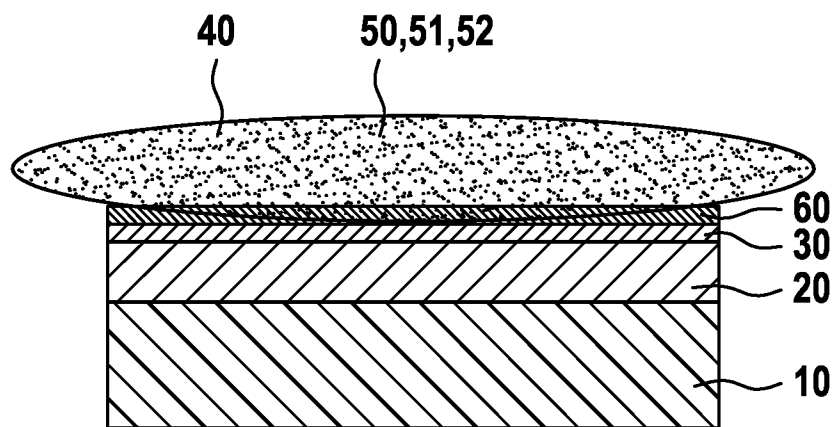


Fig. 3a

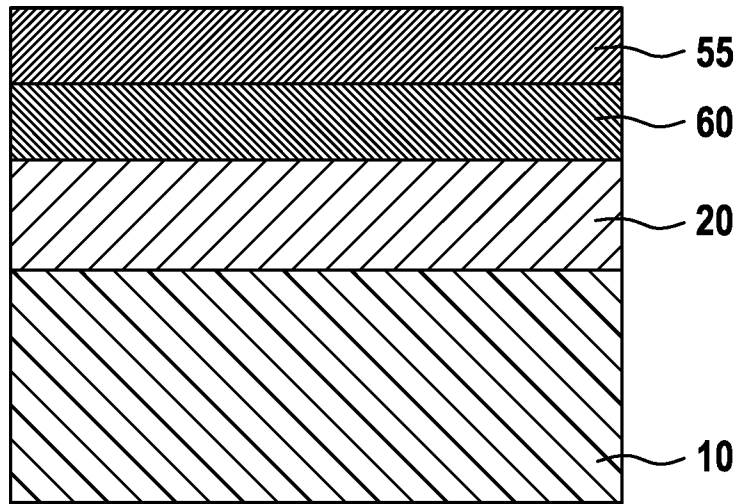


Fig. 3b

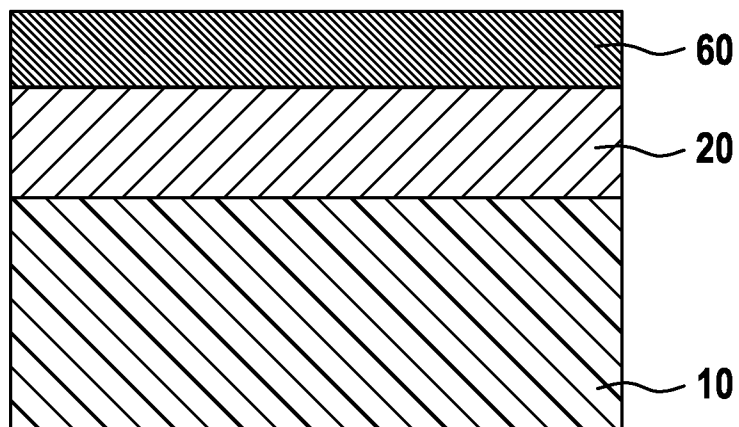


Fig. 4a

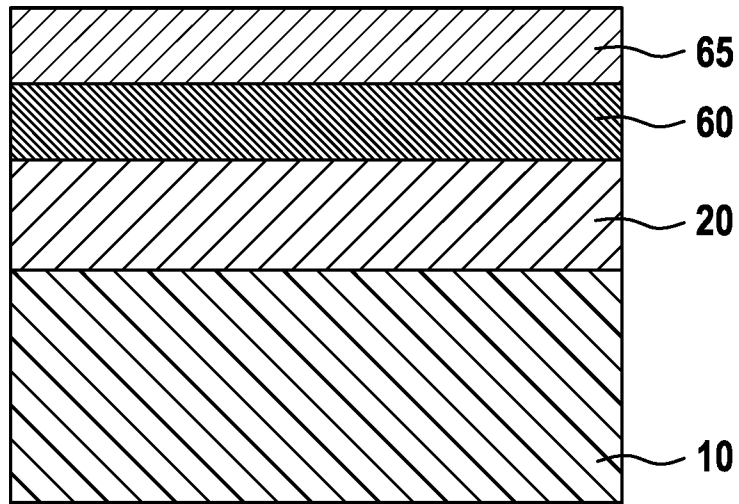


Fig. 4b

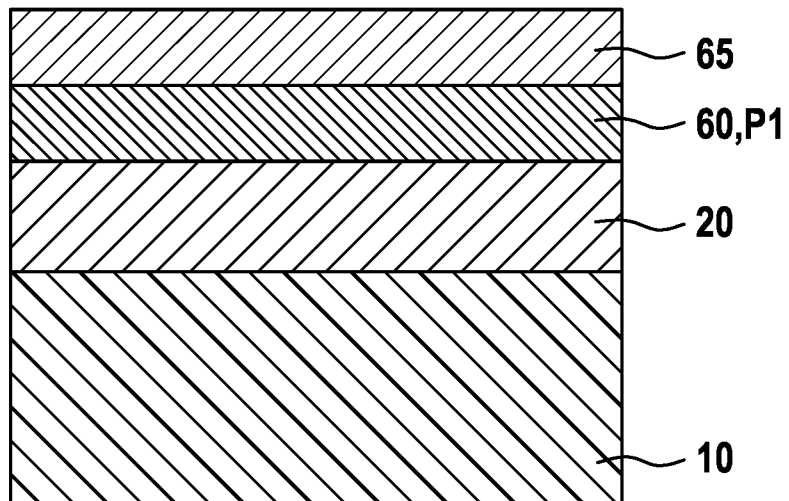
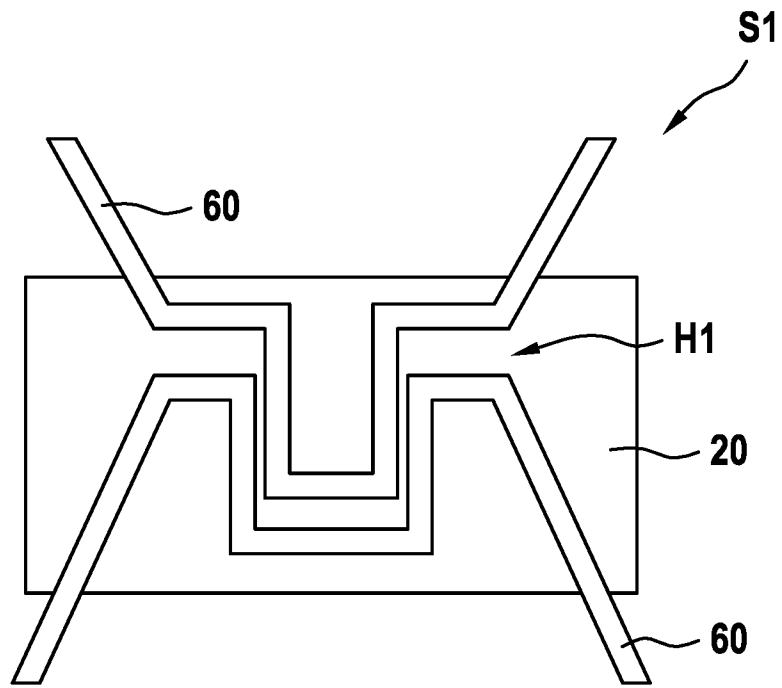


Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/062537

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B81C1/00 H05B3/14
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)
B81C B81B B01J H05B

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 practicable, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 02/080620 A1 (ECOLE POLYTECH [CH]; POLLIEN ARNAUD [CH]; LEDERMANN NICOLAS [CH]; BABO) 10 October 2002 (2002-10-10) figures 1,3,4 page 10, line 13 - page 11, line 19 page 14, line 3 - line 12 -----	9-12
A	WO 01/06496 A1 (NANOGEN INC [US]) 25 January 2001 (2001-01-25) page 11, line 1 - line 22 -----	1
A	EP 0 375 399 A2 (HONEYWELL INC [US]) 27 June 1990 (1990-06-27) cited in the application figure 3 claim 4 -----	1-12

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 application or patent 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

31 August 2017

Date of mailing of the international search report

07/09/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Meister, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/062537

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 02080620	A1	10-10-2002	NONE	
WO 0106496	A1	25-01-2001	AU 769715 B2	05-02-2004
			CA 2379762 A1	25-01-2001
			EP 1204853 A1	15-05-2002
			JP 2003505046 A	12-02-2003
			US 6306348 B1	23-10-2001
			US 2002085954 A1	04-07-2002
			WO 0106496 A1	25-01-2001
EP 0375399	A2	27-06-1990	AT 127583 T	15-09-1995
			CA 2000030 A1	23-06-1990
			DE 68924140 D1	12-10-1995
			DE 68924140 T2	09-05-1996
			EP 0375399 A2	27-06-1990
			JP H02226017 A	07-09-1990
			US 4952904 A	28-08-1990

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B81C1/00 H05B3/14
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B81C B81B B01J H05B

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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 02/080620 A1 (ECOLE POLYTECH [CH]; POLLIEN ARNAUD [CH]; LEDERMANN NICOLAS [CH]; BABO) 10. Oktober 2002 (2002-10-10) Abbildungen 1,3,4 Seite 10, Zeile 13 - Seite 11, Zeile 19 Seite 14, Zeile 3 - Zeile 12 -----	9-12
A	WO 01/06496 A1 (NANOGEN INC [US]) 25. Januar 2001 (2001-01-25) Seite 11, Zeile 1 - Zeile 22 -----	1
A	EP 0 375 399 A2 (HONEYWELL INC [US]) 27. Juni 1990 (1990-06-27) in der Anmeldung erwähnt Abbildung 3 Anspruch 4 -----	1-12



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

31. August 2017

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/09/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Meister, Martin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/062537

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 02080620	A1	10-10-2002	KEINE

WO 0106496	A1	25-01-2001	AU 769715 B2 05-02-2004
			CA 2379762 A1 25-01-2001
			EP 1204853 A1 15-05-2002
			JP 2003505046 A 12-02-2003
			US 6306348 B1 23-10-2001
			US 2002085954 A1 04-07-2002
			WO 0106496 A1 25-01-2001

EP 0375399	A2	27-06-1990	AT 127583 T 15-09-1995
			CA 2000030 A1 23-06-1990
			DE 68924140 D1 12-10-1995
			DE 68924140 T2 09-05-1996
			EP 0375399 A2 27-06-1990
			JP H02226017 A 07-09-1990
			US 4952904 A 28-08-1990
