

(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

1. Juni 2017 (01.06.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2017/087998 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L 27/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2016/000094

(22) Internationales Anmeldedatum:

24. Oktober 2016 (24.10.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

GM 350/2015 27. November 2015 (27.11.2015) AT

(71) Anmelder: PLANSEE SE [AT/AT]; //, 6600 Reutte (AT).

(72) Erfinder: KÖSTENBAUER, Harald; Osterbichl 6, 6600 Breitenwang (AT).

(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, 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, 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)

(54) Title: COATED FLEXIBLE COMPONENT

(54) Bezeichnung : BESCHICHTETES FLEXIBLES BAUTEIL

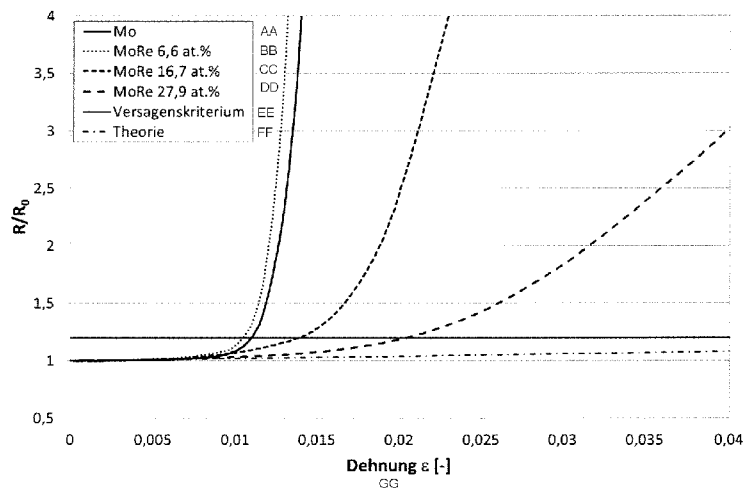


Fig. 2

AA Mo
BB MoRe 6,6 at.%
CC MoRe 16,7 at.%
DD MoRe 27,9 at.%
EE Failure criterion
FF Theorie
GG Extension

(57) Abstract: The invention relates to a coated flexible component (1), in particular a coated flexible electronic component, which contains a flexible substrate (2) and at least one refractory metal-based metallic coating (3). The refractory metal-based coating (3) contains more than 6 at% and less than 50 at% Re. In addition, the invention relates to a method for producing a coated flexible component (1) by providing a flexible substrate (2) and depositing at least one refractory metal-based metallic coating (3), which contains more than 6 at% and less than 50 at% Re.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Die Erfindung betrifft ein beschichtetes flexibles Bauteil (1), insbesondere ein beschichtetes flexibles elektronisches Bauteil, das ein flexibles Substrat (2) und mindestens eine metallische Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) enthält. Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) enthält mehr als 6 at% und weniger als 50 at% Re. Zusätzlich betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur Herstellung eines beschichteten flexiblen Bauteils (1) über Bereitstellen eines flexiblen Substrats (2) und Abscheiden mindestens einer metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3), die mehr als 6 at% und weniger als 50 at% Re enthält.

BESCHICHTETES FLEXIBLES BAUTEIL

Die Erfindung betrifft ein beschichtetes flexibles Bauteil, insbesondere ein beschichtetes flexibles elektronisches Bauteil, das ein flexibles Substrat und mindestens eine metallische Beschichtung auf Refraktärmetallbasis enthält.

- 5 Zusätzlich betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zur Herstellung eines beschichteten flexiblen Bauteils.

Der technische Fortschritt auf dem Gebiet der flexiblen Bauteile ist eng mit Fortschritten auf dem Gebiet der Dünnschichtmaterialien verknüpft.

Insbesondere ermöglicht dieser Fortschritt weitere Entwicklungen auf dem

- 10 Gebiet der Elektronik, insbesondere Dünnschicht-Bauteile, wie beispielsweise Dünnschichttransistoren (Thin Film Transistor / TFT). Weiter ermöglichen Fortschritte bei der Entwicklung neuer Integrationsprozesse auch die Kombination von Elektronik mit flexiblen Substraten und in weiterer Folge die Herstellung flexibler elektronischer Bauteile.

- 15 Die bereits über Jahrzehnte andauernde Entwicklung und Optimierung von Dünnschichtmaterialien hat mittlerweile bereits zahlreiche vorteilhafte Herstellmethoden für Dünnschichtbauelemente hervorgebracht. So können solche Dünnschichtbauelemente beispielsweise über die Herstellung auf großflächigen Substraten äußerst kostengünstig und mit gleichbleibender
- 20 Qualität hergestellt werden. Zwei der gebräuchlichsten solcher Dünnschichtbauelemente sind Dioden und Transistoren, die in einer Vielzahl von digitalen und analogen Schaltungen, sowie als Sensorelemente und zur Energiegewinnung verwendet werden.

Im Bereich der Elektronik und der elektronischen Geräte, insbesondere der

- 25 „Consumer Electronics“ (Verbraucher- bzw. Unterhaltungselektronik) werden aktuelle Entwicklungen immer stärker vom Design bestimmt: „Die Form folgt der Funktion“ / „form follows function“. Zur Umsetzung dieses Designkonzeptes in modernen Geräten werden flexible Bauteile immer wichtiger. Der sogenannte (flexible) Formfaktor ist dabei eine bestimmende Größe. Durch die Flexibilität
- 30 (auch Biegsamkeit, Verformbarkeit) der Bauteile und in weiterer Folge der Geräte eröffnen sich in Zukunft eine große Anzahl an Anwendungsgebieten wie zum Beispiel im Gesundheitswesen, in der Automobilindustrie, bei

Mensch-Maschine-Schnittstellen („Human Machine Interface“ - HMI, „graphical user interface“ - GUI), in neuartigen Computerplattformen, im Mobilfunk, im Energiemanagement und vielen mehr.

5 Auf dem Gebiet der flexiblen elektronischen Geräte gibt es heute bereits eine große Anzahl an Prototypen. Oft werden dafür exotische neue Materialien (z.B.: Graphen, Kohlenstoffnanoröhrchen, organische Halbleiter usw.) und Edelmetalle verwendet um die gewünschten Eigenschaften zu erhalten. Für eine Massenproduktion sind solche Prototypen aus Kostengründen kaum geeignet und oft nur von akademischem Interesse. In der
10 Unterhaltungselektronik wird daher oft versucht einen etablierten Dünnschichtprozess vom starren Substrat (z.B.: Glas, Silizium) auf ein flexibles Substrat (z.B.: Kunststoffolie) zu transferieren.

Auch die Patentliteratur beschäftigt sich mit dem Gebiet der flexiblen elektronischen Bauteile. So offenbart beispielsweise die *US 2014 0170413 A1*
15 verschiedene Verfahren zur Herstellung eines beschichteten Körpers der ein flexibles Substrat aufweist. In den gezeigten Verfahren werden unterschiedliche Schichten aus transparenten leitfähigen Oxiden sowie dotiertem oder legiertem Silber auf das flexible Substrat abgeschieden.

Solche flexiblen Bauteile, insbesondere flexible elektronische Bauteile, werden
20 für die Anwendung in Displays, Wearables und Portables, in der Medizintechnik (z.B.: Medizinische Geräte, Sensorik, Implantate) bei der Energieerzeugung, im Energiemanagement und der Energiespeicherung (z.B. in flexiblen Solarzellen, Dünnschichtbatterien, Kondensatoren), in der Automobilindustrie und in der Wohnraum- oder Gebäudetechnik (z.B. in Sensoren, Smart-Glass) immer
25 wichtiger. Diese Bauteile müssen im Betrieb oder beim Einbau oder der Installation hohen elastischen Verformungen, beispielsweise einer Biegebeanspruchung oder einer Zugbeanspruchung standhalten. Diese Beanspruchungen sind oft auch zyklisch und stellen hohe Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der Materialien die in diesen Bauteilen ihren
30 Einsatz finden.

Die Leiterbahnen oder Leiterbahnstrukturen solcher flexibler elektronischer Bauteile sind aufgrund des benötigten geringen elektrischen Widerstandes oft

aus Cu, Al, Ag, Cu-, Al- oder Ag-Basislegierungen oder auch Edelmetallen wie Pt und Au. Alternative Materialien wie Graphen, Kohlenstoffnanoröhrchen und leitfähige Polymere sind sehr flexibel, weisen jedoch eine im Vergleich zu den genannten Metallen oder Edelmetallen eine schlechtere elektrische Leitfähigkeit auf, weshalb sie derzeit nur in einfachen Bauteilen Anwendung finden.

Pt und Au weisen eine ausgezeichnete elektrische Leitfähigkeit sowie auch eine sehr gute Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit auf, sind aber aus Kostengründen nicht für Massenanwendungen geeignet.

Cu, Al, Ag, Cu-, Al- oder Ag-Legierungen weisen hohe Bruchdehnungen auf. Jedoch zeigen sie eine nur geringe Barrierewirkung gegenüber einer (Ein-)Diffusion von Verunreinigungen auf. Eine solche kann beispielsweise aus dem Substrat oder anderen Schichten des Bauteils in die Leiterbahn, aber auch aus der Leiterbahn in den Halbleiter stattfinden. So besteht die Gefahr, dass Cu, Al, Ag oder Bestandteile der Cu-, Al- oder Ag-Legierungen in den Halbleiter diffundieren und die Halbleitereigenschaften zerstören. Außerdem weisen Cu, Al, Ag, Cu-, Al- oder Ag-Legierungen nur eine geringe Korrosionsbeständigkeit auf. Gerade für Bauteile die auch in Umgebungen mit höherer Luftfeuchtigkeit eingesetzt werden sollen, sind diese also nur begrenzt einsetzbar und es werden für Leiterbahnen aus Cu, Al, Ag, Cu-, Al- oder Ag-Legierungen je nach Anwendung des jeweiligen Bauteils zusätzliche Deckschichten und/oder Barrierschichten benötigt.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Funktion von flexiblen Bauteilen ist eine ausreichende Adhäsion der auf dem Substrat aufgetragenen Schicht oder Schichten, beispielsweise einer Leiterbahn. Deshalb werden je nach verwendetem Substrat zusätzlich passende Haftvermittlerschichten aufgebracht.

In starren elektronischen Bauteilen ist es Stand der Technik Schichten aus Refraktärmetallen, wie Mo, W, Ti, Ta, Cr und deren Legierungen, als Barriere- oder Haftvermittlerschichten oder auch oxidations- oder korrosionsbeständige Deckschichten zu verwenden. So werden, wie beispielsweise in der *US 2011199341 A1* beschrieben, Schichten aus Molybdän-Tantal Legierungen in Berührungssensoranordnungen verwendet.

Schichten aus Refraktärmetallen haben, wenn sie zwischen einer Leiterbahn und einer vorhandenen Halbleiterschicht aufgebracht werden, zusätzlich den Vorteil, dass ein Ohm'scher Kontakt zwischen Leiterbahn und Halbleiter hergestellt wird.

- 5 Refraktärmetalle und ihre Legierungen weisen jedoch sehr häufig eine schlechte Verformbarkeit, begründet durch ihre kubisch raumzentrierte Kristallstruktur, und weiter eine zu geringe Zähigkeit (Widerstand gegen Rissbildung und -ausbreitung) auf, um gleichermaßen in flexiblen Bauteilen verwendet werden zu können. Deswegen hat der Einsatz von Refraktärmetallen
- 10 in Bauteilen die eine hohe Flexibilität aufweisen sollen, bisher nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Risse in einer Haftvermittlerschicht können sich beispielsweise in die Leiterbahn fortpflanzen. Dies führt zu einer Rissinduktion in der Leiterbahn und weiter zu durchgehenden Rissen über die gesamte Breite der Leiterbahn. In Folge steigt der elektrische Widerstand stark
- 15 an, bzw. ist eine Leitfähigkeit der Leiterbahn im Extremfall nicht mehr gegeben.

- Zwar existieren Untersuchungen an in alle drei Raumrichtungen ausgedehnten Körpern oder Proben („bulk material“) aus Refraktärmetalllegierungen zur Erhöhung der Duktilität und Schlagzähigkeit (vgl. z.B. *Leichtfried et al. in Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 37A, Oct. 2006, 2955-2961*),
- 20 nicht aber Untersuchungen an dünnen Schichten. Am Beispiel von reinem Molybdän kann aber z.B. gezeigt werden, dass sich die Eigenschaften dünner Schichten stark von jenen eines in alle drei Raumrichtungen ausgedehnten Körpers unterscheiden können. So weist Molybdän typischerweise Bruchdehnungen von etwa 10% bei Raumtemperatur auf, abhängig von
- 25 Mikrostruktur, Eigenspannungs- und Rekristallisationszustand. Dünne Molybdänschichten weisen hingegen nur Bruchdehnungen von 1 bis 2% auf.

- Es ist also Aufgabe der Erfindung ein flexibles Bauteil bereitzustellen, das die oben genannten Probleme und Nachteile vermeidet. Das Bauteil sollte eine zum Stand der Technik signifikant verbesserte Zähigkeit, also einen erhöhten
- 30 Widerstand gegen Rissbildung und Risswachstum, aufweisen. Weiters ist es Aufgabe der Erfindung eine Methode für die Herstellung eines flexiblen Bauteils bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird mit der Bereitstellung eines flexiblen Bauteils mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und einem Verfahren zu dessen Herstellung nach Anspruch 15 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

- 5 Unter Flexibilität und „flexibel“ ist hier die Eigenschaft zu verstehen eine Biegebeanspruchung, ohne nachteilige Auswirkungen auf die für die Verwendung des Bauteils relevanten Eigenschaften, aufzunehmen beziehungsweise einer solchen standzuhalten. Ausreichend flexible Bauteile weisen also auch eine signifikant verbesserte Zähigkeit auf.
- 10 Mit signifikant verbesserter Zähigkeit ist im Sinne der vorliegenden Erfindung zu verstehen, dass das Bauteil, beziehungsweise natürlich auch die enthaltene Schicht oder Schichten einen erhöhten Widerstand gegen Rissbildung und Risswachstum aufweisen, dass sich also Risse bis zu bestimmter Dehnung nicht bilden, sich erst bei höherer Dehnung bilden, oder einen modifizierten
- 15 Rissverlauf aufweisen.

- Um die Zähigkeit und in weiterer Folge also die Flexibilität zu beschreiben wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung die kritische Dehnung verwendet. Als kritische Dehnung wurde jene Dehnung ε_k definiert, bei der der elektrische Widerstand R der Schicht oder der Schichten auf dem flexiblen Substrat um
- 20 20% gegenüber dem Ausgangszustand angestiegen ist ($R/R_0=1,2$). Bei Bauteilen mit ausreichend hoher Flexibilität ist die kritische Dehnung ε_k signifikant erhöht, es bleibt also die Leitfähigkeit der Schicht oder Schichten deutlich länger erhalten.

- Gemäß Anspruch 1 wird ein beschichtetes flexibles Bauteil bereitgestellt,
- 25 welches ein flexibles Substrat und mindestens eine metallische Beschichtung auf Refraktärmetallbasis enthält. Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis enthält mehr als 6 at% und weniger als 50 at% Re.

- Unter Refraktärmetallbasis ist im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Legierung auf Basis eines oder mehrerer Refraktärmetalle zu verstehen, wobei
- 30 der Anteil des Refraktärmetalls oder der Refraktärmetalle mehr als 50 at% der

gesamten Legierung enthält. Unter Refraktärmetalle sind die Metalle Mo, W, Ta, Nb, Ti und Cr zu verstehen.

Bei einem Re (Rhenium) Gehalt bis zu 6 at% ist eine Flexibilität der metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis und damit des flexiblen Bauteils noch nicht in ausreichendem Maße gegeben.

Unter einem flexiblen Substrat ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Substrat zu verstehen, das bei Anlegen einer Biegebeanspruchung eine Dehnung ε in einer darauf abgeschiedenen Schicht oder darauf abgeschiedenen Schichten (Beschichtung) hervorruft. Wenn die Schicht oder Schichten sehr viel dünner als das Substrat ist oder sind, wird die Dehnung näherungsweise durch $\varepsilon = d_s / 2R$ beschrieben (d_s ist die Dicke des Substrates und R der Biegeradius). Ist oder sind die Schicht oder Schichten sehr dünn im Vergleich zum Substrat kann die Dehnung in der Schicht oder in den Schichten näherungsweise einer reinen Zug- oder Druckbeanspruchung gleichgesetzt werden. Beispielsweise kann ein flexibles Substrat auf Basis eines oder mehrere polymerer Werkstoffe, beispielsweise Polyimid, Polycarbonat, Polyethylenterephthalat oder Polyethylennaphthalat, aufgebaut sein. Die meisten flexiblen Substrate auf Basis eines oder mehrerer polymerer Werkstoffe weisen einen E-Modul von kleiner oder gleich 8 GPa auf. Auch Dünnglas (Glas mit einer Dicke von kleiner 1 mm), Metallfolien, beispielsweise Stahlblech mit einer Dicke von kleiner 1 mm, oder mineralische Materialien, wie beispielsweise Mica, sind geeignete flexible Substrate für ein erfindungsgemäßes flexibles Bauteil.

Ein für die Erfindung geeignetes flexibles Substrat kann wiederum aus einer Schicht oder mehreren Schichten bzw. einem oder mehreren Werkstoffen oder Materialien bestehen. Ebenso kann ein solches Substrat bereits vorab komplett oder nur teilweise mit ein oder mehreren Schichten aus anderen Materialien beschichtet sein.

Bevorzugt ist dieses Bauteil ein beschichtetes flexibles elektronisches Bauteil. Im Gegensatz zu einem beschichteten flexiblen Bauteil wie beispielsweise Verpackungsfolien mit metallischen Dampfsperrschichten oder optischen Schichten weist ein beschichtetes flexibles elektronisches Bauteil mindestens

eine den elektrischen Strom leitende Schicht auf. Dies ist beispielsweise in flexiblen Schaltkreisen, flexiblen Displays, flexiblen Sensorelementen, flexiblen Dünnschichtkondensatoren, flexiblen Dünnschichtbatterien oder einfachen elektrisch leitenden Folien der Fall.

- 5 Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils enthält bevorzugt mehr als 6 at% und weniger als 35 at% Re. Bei Gehalten von mehr als 35at% ist es bereits möglich, dass sich intermetallische Phasen zwischen dem Refraktärmetall, den Refraktärmetallen oder der Refraktärmetallbasis und dem Re bilden. Eine
- 10 solche Bildung von intermetallischen Phasen kann in einigen Legierungen wiederum bereits zu einer Verminderung der Zähigkeit führen. Weiters ist ein zu hoher Re Gehalt auf Grund der hohen Rohstoffkosten in manchen Fällen nicht mehr sinnvoll.

- Besonders bevorzugt ist es wenn die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis
- 15 eines erfindungsgemäßen beschichteten Bauteils 10 at% Re oder mehr enthält. Ab einem Gehalt von 10 at% Re ist eine besonders signifikante Steigerung der kritischen Dehnung ϵ_k (im Fall einer reinen MoRe Beschichtung von 20%) beobachtbar.

- Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils weist bevorzugt eine Dicke von kleiner 1 μm auf. Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis weist bevorzugt eine
- 20 Mindestdicke von 5 nm auf, weiter bevorzugt eine Dicke von mindestens 10 nm. Bevorzugt ist auch eine Dicke von 5 bis 300 nm, noch weiter bevorzugt von 5 bis 100 nm. Solche Schichtdicken sind besonders vorteilhaft wenn die
- 25 Beschichtung auf Refraktärmetallbasis als Haftvermittlerschicht verwendet wird. Alternativ bevorzugt ist ein Dickenbereich von 150 bis 400 nm. Eine Schichtdicke von 150 bis 400 nm ist besonders gut für einen Einsatz eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils in einem Display, beispielsweise als Gateelektrodenschicht, geeignet.

- 30 Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils ist weiter bevorzugt eine Beschichtung auf Molybdänbasis. Das bedeutet, dass das Refraktärmetall Molybdän anteilmäßig

(in at%) am meisten in der Beschichtung auf Refraktärmetallbasis enthalten ist. Eine Beschichtung auf Molybdänbasis kann im vorliegenden Fall zum Beispiel eine Mo-Re Beschichtung, eine Mo-Nb-Re Beschichtung, eine Mo-Ta-Re Beschichtung, eine Mo-W-Re Beschichtung eine Mo-Ti-Re Beschichtung oder
5 eine Mo-Cr-Re Beschichtung sein. Es sind aber auch weitere Beschichtungen auf Molybdänbasis, beispielsweise quaternärer Art möglich. Ein solches Beispiel wäre eine Mo-W-Nb-Re Beschichtung.

Beschichtungen auf Molybdänbasis sind unter anderem wegen ihrer guten Adhäsion auf vielen Substratwerkstoffen und ihrer guten Eignung als
10 Diffusionsbarriere bevorzugt. Ein weiterer Grund ist die Bildung eines Ohm'schen Kontaktes mit vielen Halbleiterwerkstoffen, insbesondere mit Silizium.

Alternativ bevorzugt ist die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils eine Beschichtung auf
15 Wolframbasis, beispielsweise eine W-Re Beschichtung oder eine W-X-Re Beschichtung, wobei $X = \text{Cr, Nb, Ta, Ti, Mo}$. Beschichtungen auf Wolframbasis weisen im Vergleich zu Beschichtungen auf Molybdänbasis eine leicht verbesserte Barrierewirkung auf.

Das flexible Substrat eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils
20 ist in bevorzugter Weise transparent. Transparent bedeutet, dass Licht im anwendungsrelevanten Teil des elektromagnetischen Spektrums, beispielsweise im sichtbaren, nahen Infrarot oder Ultraviolett, nicht oder nur in geringem Ausmaß vom flexiblen Substrat absorbiert wird.

Weiter bevorzugt umfasst das flexible Substrat eines erfindungsgemäßen
25 beschichteten flexiblen Bauteils zumindest ein Material der folgenden Gruppe (Polymer, Dünnglas, Metallfolie, mineralisches Material). Auch eine Kombination aus den genannten Materialien ist eine mögliche Ausführungsform. Aus Kosten und Gewichtsgründen ist es besonders bevorzugt, wenn das flexible Substrat aus einem Polymer besteht.

30 Die Dicke eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils ist bevorzugt kleiner als 10 mm, besonders bevorzugt kleiner 5 mm, ganz

besonders bevorzugt kleiner 2 mm. Ein erfindungsgemäßes beschichtetes flexibles Bauteil weist bevorzugt eine Mindestdicke von 10 μm auf, weiter bevorzugt eine Dicke von mindestens 50 μm .

Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils weist weiter bevorzugt eine um 25% erhöhte kritische Dehnung ϵ_k im Vergleich zur Referenzbeschichtung Refraktärmetallbasis ohne Re auf. Die kritische Dehnung wird wie folgt bestimmt und gibt Aufschluss über die Flexibilität und Zähigkeit der Beschichtung auf Refraktärmetallbasis, die in weiterer Folge auch Einfluss auf die Flexibilität und Zähigkeit des Bauteils hat.

Das Verhältnis R/R_0 wird an einer Probe der Beschichtung auf Refraktärmetallbasis auf einem Substrat mittels eines einachsigen Zugversuchs mit einer MTS Tyron 250® Universalprüfmaschine bestimmt. Dabei wird die Probe (Substrat und Beschichtung) bis zu einer maximalen Dehnung ϵ von 15% elastisch verformt. Während der Zugprüfung wird der elektrische Widerstand R der Beschichtung unter Verwendung der Vierpunkt-Methode kontinuierlich aufgezeichnet. Der elektrische Widerstand im Ausgangszustand wird als R_0 bezeichnet. Die Probenlänge (freie Länge zwischen den Einspannungen) im Ausgangszustand beträgt dabei beim verwendeten Messaufbau 20 mm und die Breite 5 mm. Der verwendete Messaufbau ist schematisch in Figur 1 dargestellt. L_{const} bezeichnet dabei die fixe Klemmlänge innerhalb der keine Dehnung stattfindet.

Als kritische Dehnung wurde jene Dehnung ϵ_k definiert bei der der elektrische Widerstand der Beschichtungen R auf dem flexiblen Substrat um 20% gegenüber dem Ausgangszustand angestiegen ist, also $R/R_0 = 1.2$.

Besonders bevorzugt ist es wenn bei die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis bei einer elastischen Dehnung ϵ von 2% ein Verhältnis elektrischen Widerstands R zum elektrischen Widerstand am Beginn der Messung R_0 , R/R_0 von kleiner 1.2 aufweist.

In einem erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteil tritt bei einer durch einen wie oben beschriebenen und in Figur 1 gezeigten Versuchsanordnung

bevorzugt eine Rissstruktur auf bei der der Anteil parallel zueinander laufende Risse normal zur Belastungsrichtung verringert wird. In einem äußerst bevorzugten Fall verlaufen mehr als 50% der Risslängen nicht normal zur Belastungsrichtung.

- 5 Ein erfindungsgemäßes beschichtetes flexibles Bauteil weist bevorzugt mindestens eine Leiterbahnstruktur auf. Als Leiterbahnstruktur oder auch einfach Leiterbahn sind hier zumeist ebenfalls in Schichten aufgebraachte, den elektrischen Strom leitende Strukturen zu verstehen. Ein beschichtetes flexibles Bauteil das mindestens eine Leiterbahnstruktur aufweist, ist ein beschichtetes
10 flexibles elektronisches Bauteil.

Eine solche Leiterbahnstruktur kann direkt auf das Substrat des beschichteten flexiblen Bauteils aufgebracht sein. Es kann oder können aber auch eine oder mehrere weitere Schichten zwischen dem Substrat und der Leiterbahnstruktur vorgesehen und aufgebracht sein. Eine solche Leiterbahnstruktur kann aus
15 einer einzelnen Schicht bestehen, sie kann aber auch aus einer Abfolge von mehreren Schichten aufgebaut sein.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die mindestens eine Leiterbahnstruktur eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteiles mindestens eine metallische Schicht aus Cu, Al, Ag einer Cu-Basislegierung, mindestens eine metallische Schicht aus Cu, Al, Ag einer Cu-Basislegierung,
20 einer Al-Basislegierung oder einer Ag-Basislegierung auf. Mit Cu-, Al- oder Ag-Basislegierung sind im vorliegenden Fall Legierungen gemeint, die respektive mehr als 50 at% Cu, Al oder Ag enthalten. Eine metallische Schicht aus Cu, Al, Ag, einer Cu-Basislegierung, Al-Basislegierung oder einer Ag-Basislegierung weist eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit auf und ist
25 dadurch besonders für die Verwendung in einer elektrischen Leiterbahn geeignet.

In einer weiter bevorzugten Ausführungsform ist die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis des erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils Teil der mindestens einen Leiterbahnstruktur. Hier sind mehrere Fälle zu
30 unterscheiden.

So kann die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis beispielsweise bereits die gesamte Leiterbahnstruktur sein. Auch Refraktärmetalle haben eine gute elektrische Leitfähigkeit und können somit bereits elektrischen Strom für einige Anwendungen in befriedigender Weise transportieren. Ein solcher Fall ist

5 beispielsweise die Gate-Elektrode in einem Dünnschichttransistor.

In einer alternativen Ausführungsform ist die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis auf der dem Substrat abgewandten Seite der mindestens einen Leiterbahnstruktur angeordnet. In einem solchen Fall kann die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis eine Funktion als Deckschicht zum

10 Schutz vor Korrosion und oder Oxidation übernehmen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis zwischen dem flexiblen Substrat und der metallischen Schicht aus Cu, Al, Ag, einer Cu-Basislegierung, Al-Basislegierung oder einer Ag-Basislegierung, also auf der dem Substrat zugewandten Seite der

15 mindestens einen Leiterbahnstruktur, angeordnet. In einem solchen Fall kann die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis eine Funktion einer Barrierschicht, einer Haftvermittlerschicht oder auch einer Schicht zur Erzeugung eines Ohm'schen Kontakts übernehmen.

In einer weiter bevorzugten Ausführungsform enthält ein erfindungsgemäßes

20 beschichtetes flexibles Bauteil zusätzlich mindestens eine halbleitende Schicht. Eine solche halbleitende Schicht kann beispielsweise eine Schicht aus amorphem, mikro- oder nanokristallinem Silizium, einem Metalloxid beispielsweise Indium-Gallium-Zink-Oxid (IGZO) oder Wolframoxid oder einem halbleitenden Polymer sein.

25 In einer noch weiter bevorzugten Ausführungsform ist die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis Teil einer TFT Struktur. Eine TFT Struktur (TFT = Thin Film Transistor / Dünnschichttransistor) ist eine Anordnung aus Dünnschichttransistoren, die in einer Vielzahl an beschichteten flexiblen elektronischen Bauteilen enthalten sein kann.

30 Ein erfindungsgemäßes beschichtetes flexibles Bauteil ist bevorzugt ein Bauteil aus der folgenden Gruppe (flexibles LCD Display, flexibles OLED Display,

flexibles elektrophoretisches Display (e-Paper), flexible Solarzelle, elektrochrome flexible Folie, flexible Dünnschichtbatterie). Ganz besonders bevorzugt ist es ein flexibles LCD Display, flexibles OLED Display oder ein flexibles elektrophoretisches Display.

- 5 Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Herstellung eines beschichteten Bauteils, insbesondere eines beschichteten flexiblen elektronischen Bauteils, umfasst zumindest die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines flexiblen Substrats;
- Beschichten des flexiblen Substrats durch Abscheiden mindestens
10 einer metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis mehr als 6 at% und weniger als 50at% Re enthält.

Es wird also ein geeignetes flexibles Substrat bereitgestellt. Unter einem flexiblen Substrat ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Substrat zu
15 verstehen, das bei Anlegen einer Biegebeanspruchung eine Dehnung ε in einer darauf abgeschiedenen Schicht oder darauf abgeschiedenen Schichten (Beschichtung) hervorruft. Wenn die Schicht oder Schichten sehr viel dünner als das Substrat ist oder sind, wird die Dehnung näherungsweise durch $\varepsilon = d_s / 2R$ beschrieben (d_s ist die Dicke des Substrates und R der Biegeradius). Ist oder
20 sind die Schicht oder Schichten sehr dünn im Vergleich zum Substrat kann die Dehnung in der Schicht oder in den Schichten näherungsweise einer reinen Zug- oder Druckbeanspruchung gleichgesetzt werden. Beispielsweise kann ein flexibles Substrat auf Basis eines oder mehrere polymerer Werkstoffe, beispielsweise Polyimid, Polycarbonat, Polyethylenterephthalat oder
25 Polyethylennaphthalat, aufgebaut sein. Die meisten flexiblen Substrate auf Basis eines oder mehrerer polymerer Werkstoffe weisen einen E-Modul von kleiner oder gleich 8 GPa auf. Auch Dünnglas (Glas mit einer Dicke von kleiner 1 mm), Metallfolien, beispielsweise Stahlblech mit einer Dicke von kleiner 1 mm, oder mineralische Materialien, wie beispielsweise Mica (Glimmer), sind
30 geeignete flexible Substrate für ein erfindungsgemäßes flexibles Bauteil.

Ein für die Erfindung geeignetes flexibles Substrat kann wiederum aus einer Schicht oder mehreren Schichten bzw. einem oder mehreren Werkstoffen oder

Materialien bestehen. Ebenso kann ein solches Substrat bereits vorab komplett oder nur teilweise mit ein oder mehreren Schichten aus anderen Materialien beschichtet sein.

Weiters wird also mindestens eine metallische Beschichtung auf

- 5 Refraktärmetallbasis abgeschieden, die mehr als 6 at% und weniger als 50 at % Re enthält. Eine Abscheidung der mindestens einen metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis kann über verschiedenartige Abscheidungsverfahren realisiert werden. Beispielsweise kann eine solche Beschichtung über physikalische oder chemische Gasphasenabscheidung realisiert werden.
- 10 Vorteilhaft ist es aber, wenn das Abscheiden der mindestens einen metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis mittels eines PVD Verfahrens, insbesondere eines Sputterverfahrens realisiert wird. PVD Verfahren (physical vapour deposition, physikalische Gasphasenabscheidung) sind bekannte Dünnschicht-Beschichtungstechnologien bei denen Teilchen des
- 15 Beschichtungsmaterials in die Dampfphase übergeführt und dann auf dem Substrat abgeschieden werden. Durch ein Abscheiden mittels eines PVD Verfahrens kann eine besonders homogene Beschichtung abgeschieden werden, deren Eigenschaften über die beschichtete Fläche gleich und isotrop sind. Weitere Vorteile dieses Verfahrens sind die geringen
- 20 Substrattemperaturen die damit realisiert werden können. Damit wird beispielsweise die Beschichtung von Polymeren ermöglicht. Weiters zeichnen sich PVD-Schichten durch sehr gute Adhäsion auf dem Substrat aus.

Besonders bevorzugt ist es wenn die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis über ein Sputterverfahren (auch: Kathodenzerstäubungsverfahren)

- 25 abgeschieden wird. Ein Sputterprozess kann relativ einfach zur homogenen Beschichtung großer Flächen eingesetzt werden und ist somit ein kostengünstiges Verfahren für die Massenproduktion.

Ganz besonders bevorzugt ist es, wenn das erfindungsgemäße Verfahren weiter folgenden Schritt enthält:

- 30 - Bereitstellen eines Targets auf Refraktärmetallbasis das zwischen 6 at% und weniger als 50 at% Re enthält;

Die Bereitstellung eines Targets auf Refraktärmetallbasis das zwischen 6 at% und weniger als 50 at% Re enthält erfolgt vor dem Abscheiden mindestens einer metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis. Die metallische Beschichtung wird also von dem bereitgestellten Target abgeschieden.

- 5 Unter Target ist dabei eine Beschichtungsquelle für eine Beschichtungsanlage zu verstehen. In einem bevorzugten Verfahren handelt es sich bei dem verwendeten Target um ein Sputtering Target für ein Sputterverfahren.

Die chemische Zusammensetzung der Beschichtung wird über die chemische Zusammensetzung des verwendeten Targets bestimmt. Durch leicht
10 unterschiedliches Sputterverhalten der im Target enthaltenen Elemente, kann es jedoch zu Abweichungen der Beschichtungszusammensetzung von der Targetzusammensetzung kommen. Beispielsweise kann durch bevorzugtes Sputtern von Re aus einem MoRe Target der Re Gehalt in der abgeschiedenen Beschichtung leicht erhöht sein. Um Beschichtungen die mehr als 6 at% Re
15 enthalten sollen zu erzeugen, kann ein entsprechendes Target auch weniger als 6 at% Re enthalten. Dieses Verhalten hängt allerdings von den im Target enthaltenen Elementen ab, kann sich also für unterschiedliche Targets auf unterschiedlicher Refraktärmetallbasis unterscheiden.

Alternativ zur Verwendung eines einzelnen Targets kann die metallische
20 Beschichtung auf Refraktärmetallbasis auch über Co-Abscheiden, bevorzugt Co-Sputtern, von einzelnen Targets abgeschieden werden. In diesem Fall kann die chemische Zusammensetzung der Beschichtung zusätzlich über die Wahl der unterschiedlichen Targets gesteuert werden.

Die Herstellung von Sputtering Targets, die geeignet für die Abscheidung von
25 metallischen Beschichtungen auf Refraktärmetallbasis sind, kann beispielsweise auf pulvermetallurgischem Weg erfolgen.

Mögliche pulvermetallurgische Routen zur Herstellung von Sputtering Targets basieren auf Heißpresstechnologien wie Heißpressen (HP) oder Spark-Plasma-Sintering (SPS). In beiden Fällen wird eine Pulvermischung in
30 eine Form einer Presse gefüllt, in der Form erhitzt und bei hohem Pressdruck und hoher Temperatur zu einem dichten Bauteil gesintert/verdichtet. Dabei stellt

sich eine homogene Mikrostruktur mit gleichförmigen Körnern ein, die keine Vorzugsorientierung (Textur) aufweist.

Eine ähnliche pulvermetallurgische Route zur Herstellung von Sputtering Targets ist das Heißisostatische Pressen (HIP). Das zu verdichtende Material
5 wird dabei in einen deformierbaren, dichten Behälter (meist eine Stahlkanne) gefüllt. Dabei kann es sich um Pulver, Pulvermischungen oder Grünkörper (in Form gepresstes Pulver) handeln. Das sich in diesem Behälter befindende Material wird im Behälter in einem mit Druck beaufschlagten Kessel bei hohen Temperaturen und Drücken unter Schutzgas (z.B. Ar) gesintert/verdichtet. Der
10 Gasdruck wirkt von allen Seiten, deshalb wird dieser Vorgang als isostatisches Pressen bezeichnet. Typische Prozessparameter sind z.B. 1100°C und 100 MPa mit einer Haltezeit von 3 h. Dabei stellt sich eine homogene Mikrostruktur mit gleichförmigen Körnern ein, die keine Vorzugsorientierung (Textur) aufweist.

15 Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung von Sputtering Targets über eine pulvermetallurgische Route ist Sintern und nachfolgendes Umformen. Dabei wird ein Pulverpressling bei hoher Temperatur unter Wasserstoff oder Vakuum gesintert. Nach dem Sintern erfolgt ein Umformschritt wie beispielsweise Walzen oder Schmieden, um eine hohe relative Dichte von >99% zu erhalten.
20 Dabei stellt sich eine Mikrostruktur mit langgestreckten Körnern ein, die eine Vorzugsorientierung (Textur) aufweist. Bei einer optionalen nachfolgenden Rekristallisationsglühung stellt sich eine homogene Mikrostruktur mit gleichförmigen Körnern ein, die aber weiterhin eine Vorzugsorientierung (Textur) aufweist.

25 Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung von Sputtering Targets über eine pulvermetallurgische Route ist das Auftragen eines Pulvers oder einer Pulvermischung auf eine entsprechende Stützstruktur, beispielsweise eine Platte oder ein Rohr, mittels eines thermischen Spritzverfahrens, beispielsweise Kaltgasspritzen.

30 Im Folgenden wird die Erfindung beispielhaft näher beschrieben und anhand der Tabellen und Figuren weiter erläutert.

Beispiel 1:

Im Rahmen mehrerer Versuchsserien wurden unterschiedliche metallische Beschichtungen auf Refraktärmetallbasis auf Polyimid Substrate abgeschieden. Dabei wurden Beschichtungen mit unterschiedlicher chemischer

5 Zusammensetzung gefertigt.

Die Zusammensetzungen der metallischen Beschichtungen auf Refraktärmetallbasis sowie jene der für deren Abscheidung verwendeten Targets sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung der MoRe Sputtering Targets und der damit hergestellten MoRe Beschichtungen

MoRe6	Mo [at%]	Re [at%]
Target	94	6
Beschichtung	93,4	6,6
MoRe15	Mo [at%]	Re [at%]
Target	85	15
Beschichtung	83,3	16,7
MoRe26	Mo [at%]	Re [at%]
Target	74	26
Beschichtung	72,1	27,9

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung der MoXRe Sputtering Targets und der damit hergestellten MoXRe Beschichtungen

MoNbRe	Mo [at%]	Nb [at%]	Re [at%]
Target	76,5	8,5	15
Beschichtung	74,5	9,5	16,0
MoTaRe	Mo [at%]	Ta [at%]	Re [at%]
Target	76,5	8,5	15
Beschichtung	71,3	13,2	15,5
MoTiRe	Mo [at%]	Ti [at%]	Re [at%]
Target	42,5	42,5	15
Beschichtung	41,1	44,8	14,2
MoCrRe	Mo [at%]	Cr [at%]	Re [at%]
Target	76,5	8,5	15
Beschichtung	75,9	8,5	15,6
MoWRe	Mo [at%]	W [at%]	Re [at%]
Target	63,75	21,25	15
Beschichtung	55,7	34,0	10,3

Als Referenzmaterial für die Molybdänbasislegierungen wurde reines Mo, in Form einer Molybdänbeschichtung mit einer Dicke von 200nm verwendet.

Weiters wurden auch jeweils MoX Beschichtungen (X=Cr, Nb, Ta, Ti, W),
 5 ebenfalls mit einer Dicke von 200nm, als Vergleich zu den MoXRe Beschichtungen (X=Cr, Nb, Ta, Ti, W) gemessen.

Das Verhältnis (in at%) Mo zu X wurde bei den MoXRe Legierungen gleich jenem in den MoX Vergleichslegierungen gewählt. Der Re-Gehalt in den MoXRe Legierungen (in den für die Abscheidung verwendeten Targets) betrug
 10 immer 15at% Re. Die jeweiligen Beschichtungen wurden von Sputtering Targets aus den entsprechenden Refraktärmetallbasislegierungen abgeschieden.

Alle Beschichtungen wurden auf 50µm dicke Folie aus Polyimid (PI, „Kapton“) bei Raumtemperatur abgeschieden. Die Prozessparameter wurden dabei
 15 konstant gehalten, um einen Einfluss unterschiedlicher Prozessbedingungen

auf die Ergebnisse so weit als möglich auszuschließen. Die Schichtdicke wurde mit 200nm konstant gehalten um einen Einfluss geometrischer Effekte auf die Ergebnisse zu vermeiden.

An den Beschichtungsproben auf den Polyimid Substraten wurde ein
 5 einachsiger Zugversuche mit einer MTS Tyron 250® Universalprüfmaschine durchgeführt. Dabei wurden die Substrate bis zu einer maximalen Dehnung ε von 15% elastisch verformt. Während der Zugprüfung wurde der elektrische Widerstand R der Beschichtungen unter Verwendung der Vierpunkt-Methode kontinuierlich aufgezeichnet. Der elektrische Widerstand zu Beginn der
 10 Messung wird als R_0 bezeichnet. Die Probenlänge (freie Länge zwischen den Einspannungen) im Ausgangszustand betrug dabei 20 mm und die Breite 5 mm. Der Messaufbau ist schematisch in Figur 1 dargestellt. L_{const} bezeichnet dabei die fixe Klemmlänge innerhalb der keine Dehnung stattfindet.

Als kritische Dehnung wurde jene Dehnung ε_k definiert, bei der der elektrische
 15 Widerstand der Beschichtungen R auf dem flexiblen Substrat um 20% gegenüber dem Ausgangszustand angestiegen ist, also $R/R_0 = 1.2$.

Die mittels dieses Zugversuches ermittelten kritischen Dehnungen ε_k sind in den Tabellen 3 und 4 aufgeführt.

Tabelle 3: Kritische Dehnung ε_k der untersuchten Mo und MoRe Beschichtungen, sowie die Differenz zur Referenzprobe aus reinem Mo

Material	kritische Dehnung ε_k	$\Delta\varepsilon_k$
Mo	1,11%	Referenz
MoRe 6at%	1,06%	-4%
MoRe 15at%	1,39%	26%
MoRe 26at%	2,05%	85%

20 Im Fall der MoRe Legierungen (nur Mo als Refraktärmetallbasis) ist für eine Re Zugabe von 6at% noch keine signifikante Steigerung der kritischen Dehnung ε_k zu beobachten. Die kritischen Dehnungen von rein Mo und MoRe6 at% sind weitgehend ident, die geringen Unterschiede sind durch typische Schwankungen bei der Messung zu erklären.

Tabelle 4: Kritische Dehnung ϵ_k der untersuchten MoX und MoXRe Beschichtungen, sowie die Differenz zu den Referenzprobe aus MoX (X= Cr, Nb, Ta, Ti, W)

	kritische Dehnung ϵ_k		kritische Dehnung ϵ_k	$\Delta\epsilon_k$
MoCr	0,87%	MoCrRe	1,79%	107%
MoNb	0,36%	MoNbRe	1,42%	294%
MoTa	1,10%	MoTaRe	1,59%	45%
MoTi	0,76%	MoTiRe	1,46%	92%
MoW	1,20%	MoWRe	1,56%	30%

Nach der oben beschriebenen Zugprüfung wurden die getesteten Beschichtungen im Lichtmikroskop und Rasterelektronenmikroskop untersucht. Dabei wurden die Form der Risse und der mittlere Abstand zwischen den in den

5 Beschichtungen aufgetretenen Risse beurteilt.

In einer Beschichtung auf Basis eines spröden Werkstoffes wie beispielsweise reinem Mo, tritt beim Versagen der Probe unter Zugbelastung üblicherweise ein Rissbild auf, das für ein sprödes Werkstoffverhalten typisch ist. Dieses ist durch ein Netzwerk aus geraden, parallel verlaufenden Rissen, die sich annähernd im

10 rechten Winkel zur Belastungsrichtung bilden, gekennzeichnet. Ein solches Rissbild ist beispielsweise in den Figuren 4 a) (Mo) und 5 zu erkennen. Diese geraden Risse verlaufen meist über die gesamte Breite der Probe von einer Seite zur anderen sowie durch die gesamte Dicke der Beschichtung. Solche Risse werden auch Through Thickness Cracks (TTC) genannt. TTCs

15 reduzieren die elektrische Leitfähigkeit der Beschichtung beträchtlich, da im schlimmsten Fall keine durchgehende leitfähige Verbindung mehr in der Beschichtung vorhanden ist. Wie in den an den Referenzmaterialien gemessenen Kurven ersichtlich, steigt der elektrische Widerstand sehr stark mit steigender Dehnung an. Dies ist den Figuren 2 und 3 zu entnehmen, die den

20 Anstieg des elektrischen Widerstands im Vergleich zum Ausgangswiderstand (R/R_0) gegenüber der aufgetragenen Dehnung ϵ zeigen. Siehe darin die Kurven für Mo, bzw. MoX (X=Cr, Nb, Ta, Ti, W). Die Kurve mit der Bezeichnung

„Theorie“ bezeichnet die Zunahme des elektrischen Widerstandes welche nur über die Formänderung der Probe entsteht.

In Figur 6 sind die kritischen Dehnungen ϵ_k aus dem Versagenskriterium $R/R_0 = 1.2$ dargestellt. Ab einem kritischen Re Gehalt von größer 6 at% Re ist die Zähigkeit der Beschichtung bereits gesteigert. Es wird vermutet, dass diese Steigerung der Zähigkeit durch eine Senkung der spröd-duktil Übergangstemperatur verursacht wird. Dies führt in weiterer Folge zu einer Erhöhung der kritischen Dehnung und zu einem reduzierten Auftreten von TTCs. Beispiele für dieses Verhalten sind in den Figuren 2 bis 5 zu sehen.

10 So zeigt Figur 2 die Widerstandskurven R/R_0 der MoRe Proben mit unterschiedlichen Re Gehalten und Figur 3 die Widerstandskurven R/R_0 der unterschiedlichen MoXRe Legierungen. Die kritische Dehnung ϵ_k ist jeweils signifikant erhöht, dies ist ebenfalls aus den Tabellen 3 und 4 ersichtlich. Das Erscheinungsbild der Risse ist in den Figuren 4 und 5 zu erkennen.

15 Ein weiterer Effekt der zusätzlich zur Erhöhung der kritischen Dehnung ϵ_k beobachtet werden kann, ist, dass das Erscheinungsbild der Risse sich von einem spröden zu einem zähen Werkstoffverhalten ändert. Risse die für ein zähes Werkstoffverhalten typisch sind, sind daran zu erkennen, dass die Risse nicht mehr geradlinig sind sondern eher einen Zick-zack Verlauf aufweisen.

20 Eine Umlenkung der Risse an den Rissspitzen ist eine mögliche Erklärung für ein solches Rissverhalten. In Figur 4 b) (MoRe 16.7at%) ist zu erkennen, dass bei MoRe 16,7at% die Risse zwar weitestgehend parallel aber nicht mehr geradlinig verlaufen. In Figur 4 c) (MoRe 27,9at%) ist deutlich ein bereits zäheres Rissbild zu erkennen. Risse mit zäherem Charakter verlaufen meist durch die gesamte Schichtdicke aber nicht zwangsläufig über die gesamte Probenbreite wodurch noch leitfähige Verbindungen im Material vorhanden bleiben. Die Steigung der R/R_0 Kurve ist in diesem Fall niedriger (die Kurve steigt weniger schnell an) wie dies an den Beispielen von MoRe in Figur 2, sowie MoCrRe und MoWRe in Figur 3 zu erkennen ist.

30 Ab einem kritischen Re-Gehalt in der Beschichtung auf Refraktärmetallbasis wird somit die kritische Dehnung ϵ_k signifikant erhöht und das Auftreten von Rissen reduziert. Bei weiterer Steigerung des Re-Gehaltes wird das Rissverhalten von spröd in Richtung zäh verändert. Bei welchem Re-Gehalt

eine Änderung des Rissverhaltens auftritt, ist vom Referenzmaterial (Mo, MoX) und den Legierungselementen X (Cr, Nb, Ta, Ti, W) abhängig.

Ein zäheres Verhalten der Mo und MoX Beschichtungen (X=Cr, Nb, Ta, Ti, W) bzw. auch der MoRe und MoXRe Beschichtungen (X=Cr, Nb, Ta, Ti, W) kann
5 auch durch eine erhöhte Versuchstemperatur erreicht werden. Dieser Effekt ist hinreichend von in alle drei Raumrichtungen ausgedehntem Material bekannt (spröd-duktil Übergangstemperatur). Als Beispiel ist in Figur 7 eine elektronenmikroskopische Aufnahme des Rissnetzwerkes je einer Mo Beschichtung nach einem Zugversuch bei 25°C und bei 340°C dargestellt. Die
10 bei 25°C getestete Probe zeigt deutlich sprödes Verhalten während die bei 340°C getestete Probe ein zäheres Verhalten zeigt. Im Einsatz sind solch hohe Temperaturen jedoch unrealistisch und dieser Effekt daher nicht relevant.

Es wird vermutet, dass die mechanischen Eigenschaften der untersuchten Beschichtungen noch weiter optimiert werden können. So ist es wahrscheinlich,
15 dass über gezielte Wärmebehandlungen die Mikrostruktur und der Eigenspannungszustand der abgeschiedenen Beschichtungen auf Refraktärmetallbasis weiter optimiert werden können. Auch über eine gezielte Einstellung der Abscheidebedingungen kann das Wachstum der Beschichtungen gezielt beeinflusst und sehr wahrscheinlich eine weitere
20 Steigerung der Zähigkeit erzielt werden.

Ein zäheres Verhalten der Mo und MoX Beschichtungen (X=Cr, Nb, Ta, Ti, W) bzw. auch der MoRe und MoXRe Beschichtungen (X=Cr, Nb, Ta, Ti, W) kann auch durch eine geringere Schichtdicke erreicht werden. Als Beispiel sind in Figur 8 die Widerstandskurven R/R_0 von Mo und MoRe Proben mit
25 unterschiedlichen Schichtdicken von 50nm und 200nm dargestellt. Die R/R_0 Kurven der Proben mit den 50nm dicken Beschichtungen sind dabei deutlich nach rechts zu höheren Dehnungen verschoben und der Verlauf weist eine geringere Steigung auf. Es ist somit eine signifikante Verbesserung der Zähigkeit der Beschichtungen durch Verringerung der Schichtdicke zu
30 erreichen.

Beispiel 2

Im Rahmen mehrerer Versuchsserien wurden unterschiedliche metallische Beschichtungen auf Refraktärmetallbasis auf Polyimid Substrate abgeschieden. Dabei wurden Beschichtungen auf Wolframbasis im System WRe mit
5 unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung gefertigt.

In einer ersten Versuchsserie wurden die WRe Beschichtungen unter Verwendung derselben Abscheideparameter wie in Beispiel 1 hergestellt. Aufgrund eines stark unterschiedlichen Sputterverhaltens von W und Re konnte mit den verwendeten Abscheidebedingungen kaum Re in die abgeschiedenen
10 Beschichtungen eingebracht werden. Beispielsweise konnte von einem Wolframtarget enthaltend 15at% Re eine WRe Beschichtung mit nur etwa 1.3 at% Re abgeschieden werden. Durch die Anpassung der Abscheideparameter wie beispielsweise die Verwendung von Krypton anstatt Argon als Sputtergas konnte der Re-Gehalt in den Beschichtungen erhöht
15 werden.

WRe Beschichtungen zeigen ähnlich den MoRe Beschichtungen eine deutliche Verbesserung der Zähigkeit im Zugversuch im Vergleich zu reinen Wolframbeschichtungen.

Figur 9 a) bis j) zeigt verschiedene erfindungsgemäße Ausführungsformen
20 eines beschichteten flexiblen Bauteils (1). Jede der Ausführungsformen weist ein flexibles Substrat (2) sowie mindestens eine metallische Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) auf. Die Ausführungsformen die in Figur 9 b) bis j) gezeigt sind weisen zusätzlich noch mindestens eine Leiterbahnstruktur (4) auf. Die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) muss nicht Teil der
25 Leiterbahnstruktur (4) sein wie in den Figuren 9 c) und d) gezeigt ist. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) jedoch Teil der Leiterbahnstruktur (4) wie in den Figuren 9 e) bis j) gezeigt ist. Die mindestens eine Leiterbahnstruktur kann zusätzlich eine metallische Schicht (5) aufweisen, siehe Figuren 9 d) und h) bis j). In einer bevorzugten
30 Ausführungsform ist die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) zwischen dem flexiblen Substrat (2) und der metallische Schicht (5) angeordnet, wie in

den Figuren 9 h) bis j) gezeigt ist. Ein beschichtetes flexibles Bauteil (1) kann zusätzlich mindestens eine halbleitende Schicht (6) aufweisen, siehe Figur 9 j).

Figurenbeschreibung

- 5 Figur 1: Schematischer Aufbau des verwendeten einachsigen Zugversuchs mit elektrischer Widerstandsmessung zur Bestimmung der kritischen Bruchdehnung ϵ_k . L_{const} bezeichnet die fixe Klemmlänge an der keine Dehnung stattfindet

- 10 Figur 2: R/R_0 Kurven für Mo und MoRe-Legierungen abhängig vom Re-Gehalt in der Beschichtung. Die Kurve mit der Bezeichnung „Theorie“ bezeichnet die Zunahme des elektrischen Widerstandes welche nur über die Formänderung der Probe entsteht

Figur 3: R/R_0 Kurven für alle untersuchten MoX und MoXRe Legierungen (X= Cr, Nb, Ta, Ti, W)

- 15 Figur 4: Lichtmikroskopische Aufnahmen des Rissbildes einer Mo Beschichtung und verschiedener MoRe Beschichtungen nach einer maximalen Dehnung von 15% (ähnliches Verhalten zeigen auch MoCr im Vergleich zu MoCrRe und MoW im Vergleich zu MoWRe)

- 20 Figur 5: Lichtmikroskopische Aufnahmen des Rissbildes von MoNb und MoNbRe nach einer maximalen Dehnung von 15% (ähnliches Verhalten zeigen auch MoTa im Vergleich zu MoTaRe und MoTi im Vergleich zu MoTiRe)

Figur 6: ϵ_k (aus dem Versagenskriterium $R/R_0 = 1.2$) abhängig vom Re Gehalt in den gemessenen MoRe Beschichtungen für unterschiedliche Re Gehalte

- 25 Figur 7: Elektronenmikroskopische Aufnahme des Rissbildes von Mo Beschichtungen nach einem Zugversuch bei 25°C und 340°C nach einer maximalen Dehnung von 15%

Figur 8: R/R_0 Kurven für Mo und MoRe-Legierungen abhängig vom Re-Gehalt in der Beschichtung und der Schichtdicke.

Figur 9: Darstellung verschiedener Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen beschichteten flexiblen Bauteils.

Bezugszeichenliste

- 1 Beschichtetes flexibles Bauteil
- 2 flexibles Substrat
- 3 metallische Beschichtung auf Refraktärmetallbasis
- 5 4 Leiterbahnstruktur
- 5 metallische Schicht
- 6 halbleitende Schicht

Ansprüche

1. Beschichtetes flexibles Bauteil (1), insbesondere beschichtetes flexibles elektronisches Bauteil, enthaltend
 - ein flexibles Substrat (2)
 - mindestens eine metallische Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3),
dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) mehr als 6 at% und weniger als 50 at% Re enthält.
2. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach Anspruch 1, wobei die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) mehr als 6 at% und weniger als 35 at% Re enthält.
3. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Dicke der Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) kleiner 1 μm , bevorzugt 5 bis 300 nm, ist.
4. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) eine Beschichtung auf Molybdänbasis ist.
5. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das flexible Substrat (2) transparent ist.
6. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das flexible Substrat (2) zumindest ein Material der folgenden Gruppe umfasst (Polymer, Dünnglas, Metallfolie, mineralisches Material)

- 5 7. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) bei 2% elastischer Dehnung ϵ ein Verhältnis des elektrischen Widerstands R zum elektrischen Widerstand am Beginn der Messung R_0 , R/R_0 von kleiner 1.2 aufweist.
- 10 8. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das beschichtete flexible Bauteil (1) mindestens eine Leiterbahnstruktur (4) aufweist.
- 15 9. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach Anspruch 8, wobei die mindestens eine Leiterbahnstruktur (4) mindestens eine metallische Schicht (5) aus Cu, Al, Ag, einer Cu-Basislegierung, einer Al-Basislegierung oder einer Ag-Basislegierung aufweist.
- 20 10. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) Teil der mindestens einen Leiterbahnstruktur (4) ist.
- 25 11. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, wobei die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) zwischen dem flexiblen Substrat (2) und der metallischen Schicht (5) aus Cu, Al, Ag, einer Cu-Basislegierung, einer Al-Basislegierung oder einer Ag-Basislegierung angeordnet ist.
- 30 12. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei das beschichtete flexible Bauteil (1) zusätzlich mindestens eine halbleitende Schicht (6) enthält.
- 35 13. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, wobei die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) Teil einer TFT Struktur ist.

14. Beschichtetes flexibles Bauteil (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das beschichtete flexible Bauteil (1) ein Bauteil aus der folgenden Gruppe ist (flexibles LCD Display, flexibles OLED Display, flexibles elektrophoretisches Display (e-Paper), flexible Solarzelle, elektrochrome flexible Folie, flexible Dünnschichtbatterie).
15. Verfahren zur Herstellung eines beschichteten Bauteils (1), insbesondere eines beschichteten flexiblen elektronischen Bauteils, umfassend zumindest die folgenden Schritte:
- Bereitstellen eines flexiblen Substrats (2);
 - Beschichten des flexiblen Substrats (2) durch Abscheiden mindestens einer metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3), dadurch gekennzeichnet, dass die Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) mehr als 6 at% und weniger als 50 at% Re enthält.
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das Abscheiden der mindestens einen metallischen Beschichtung auf Refraktärmetallbasis (3) mittels eines PVD Verfahrens, insbesondere eines Sputterverfahrens realisiert wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 oder 16, wobei das Verfahren weiter folgenden Schritt enthält:
- Bereitstellen eines Targets auf Refraktärmetallbasis das zwischen 6 at% und weniger als 50 at% Re enthält.

1/6

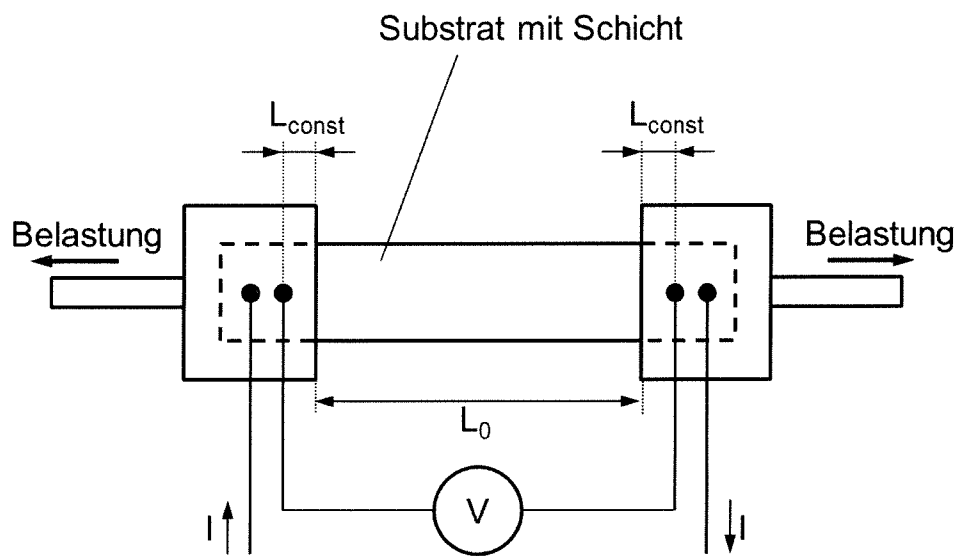
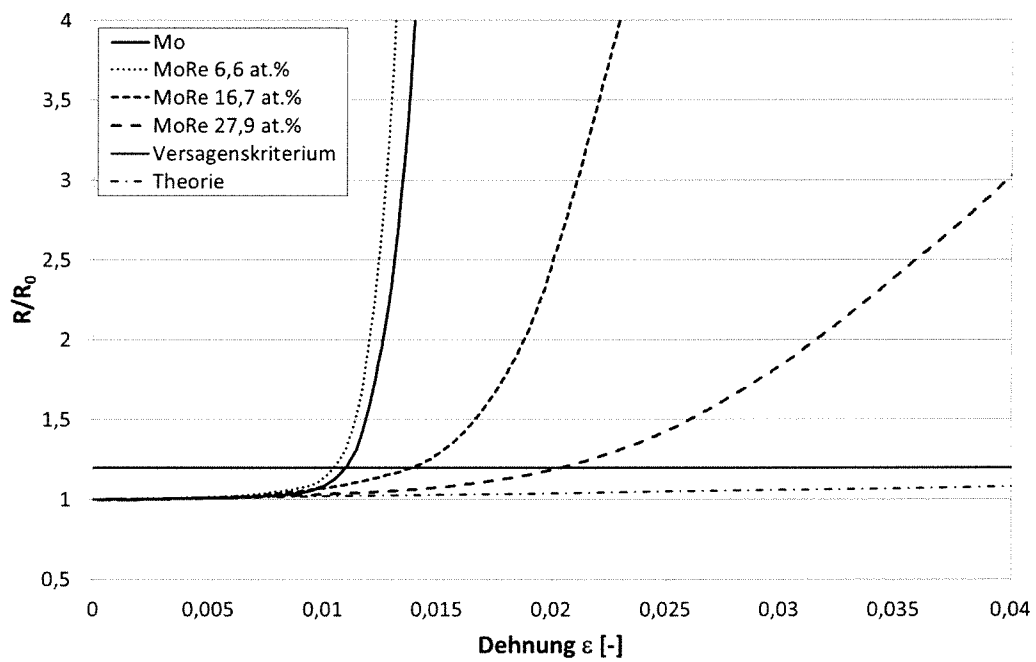


Fig. 1



5 Fig. 2

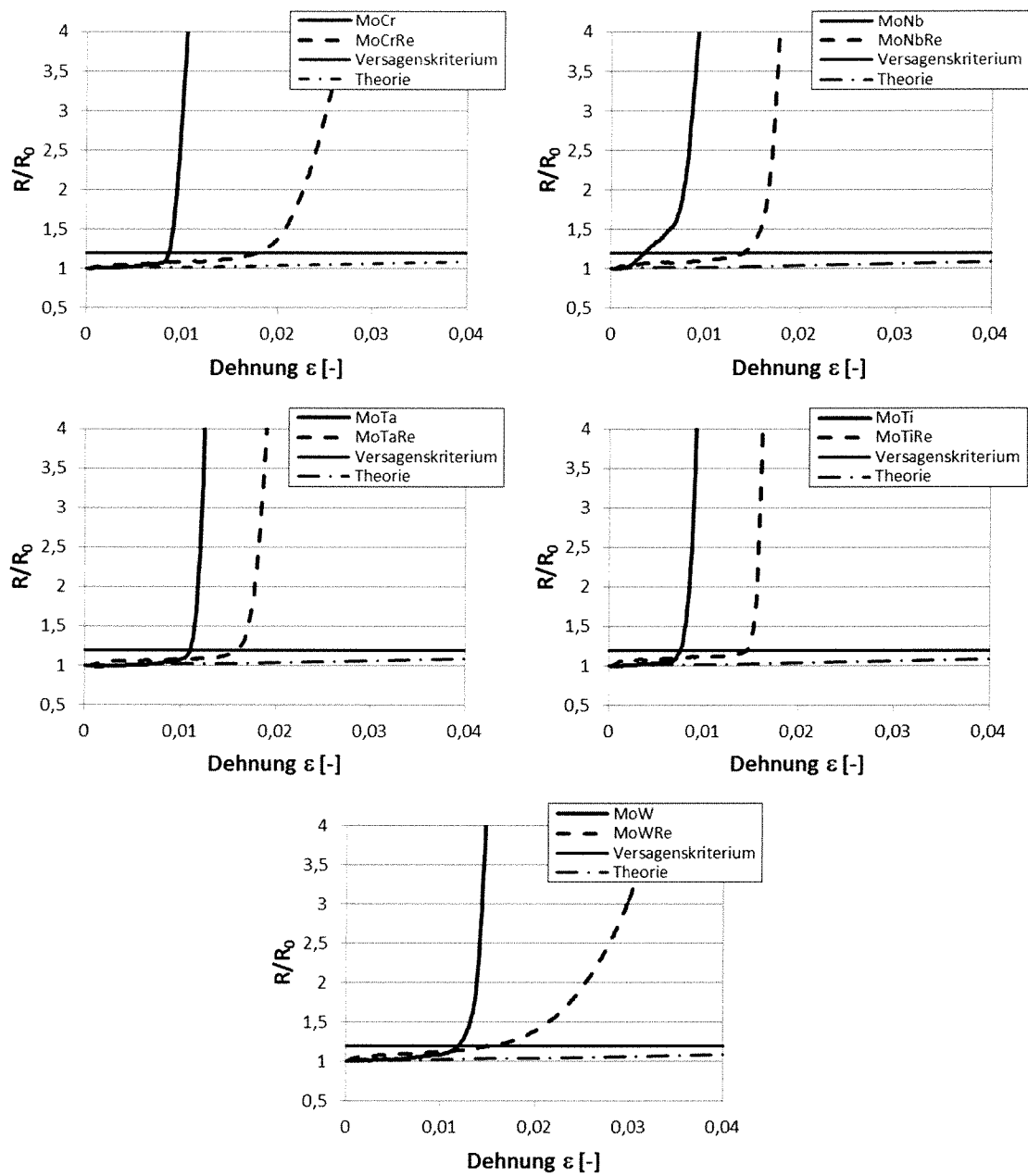


Fig. 3

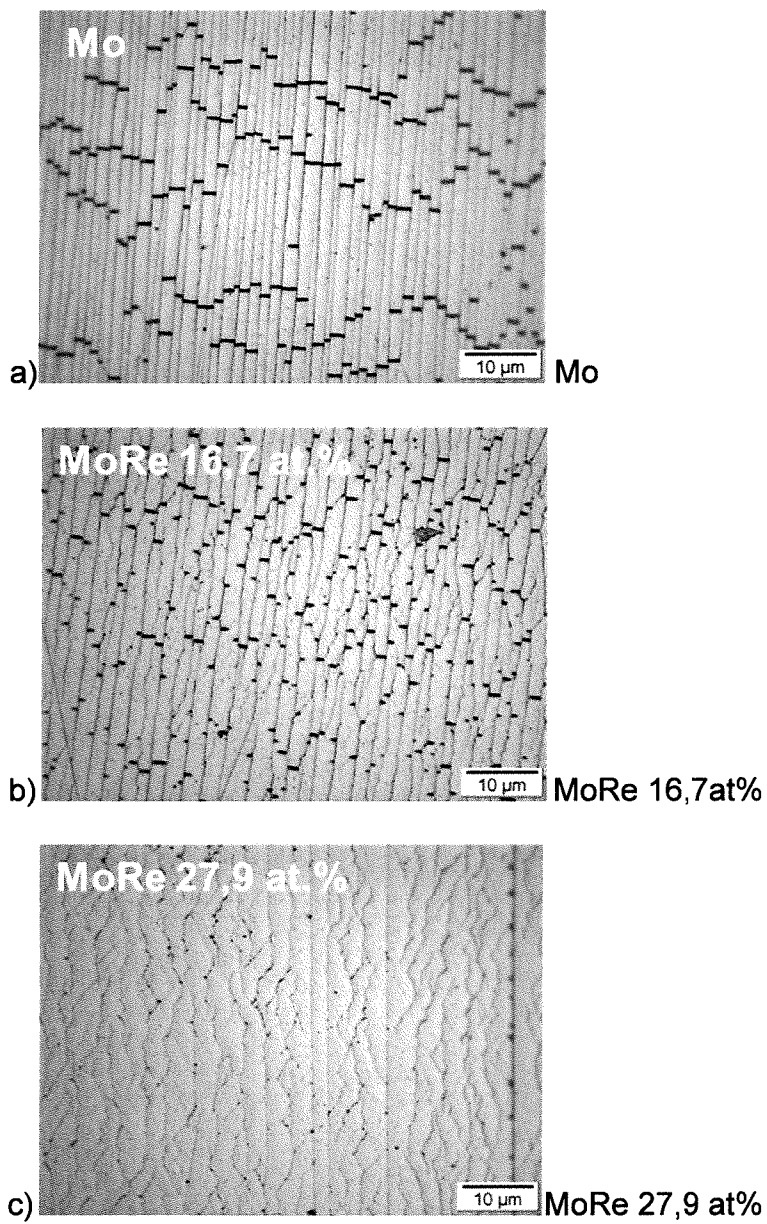


Fig. 4

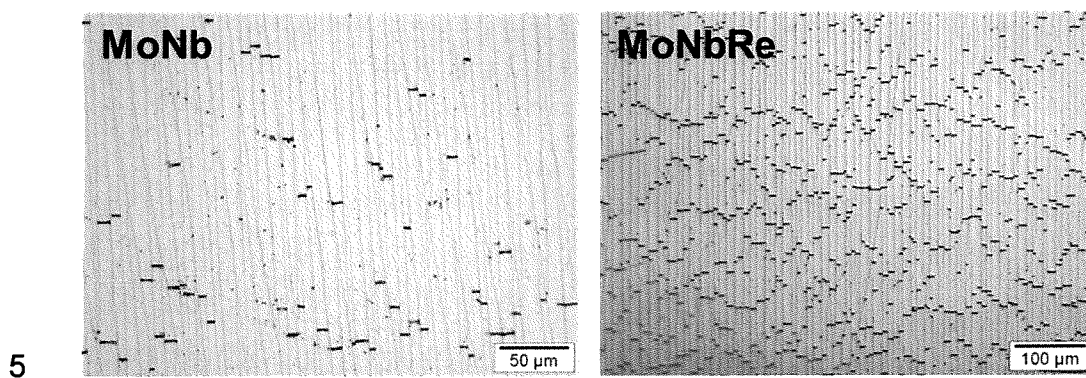


Fig. 5

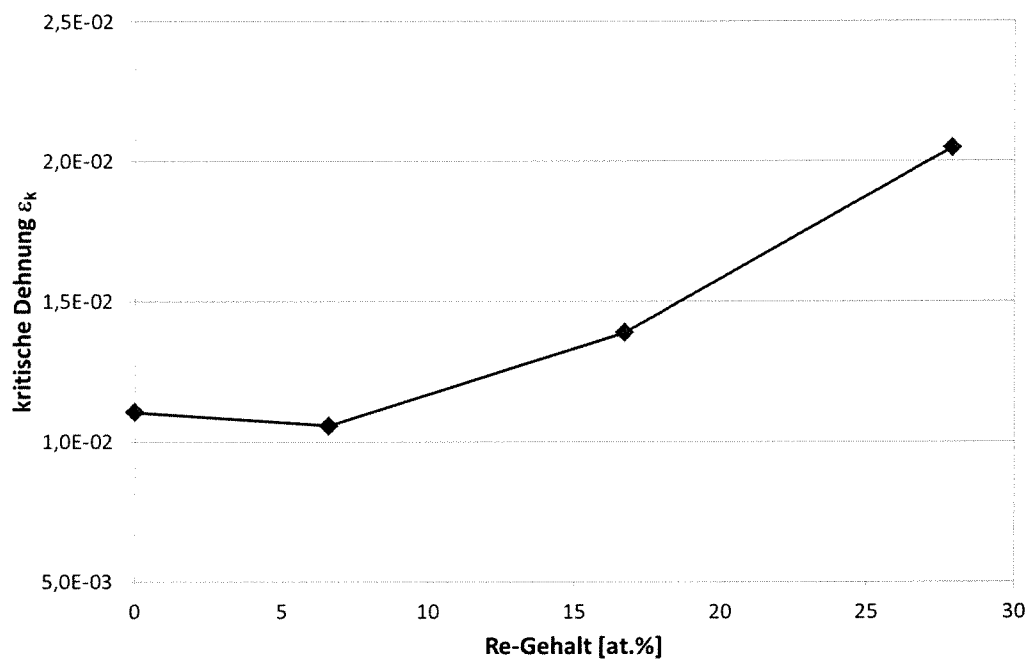
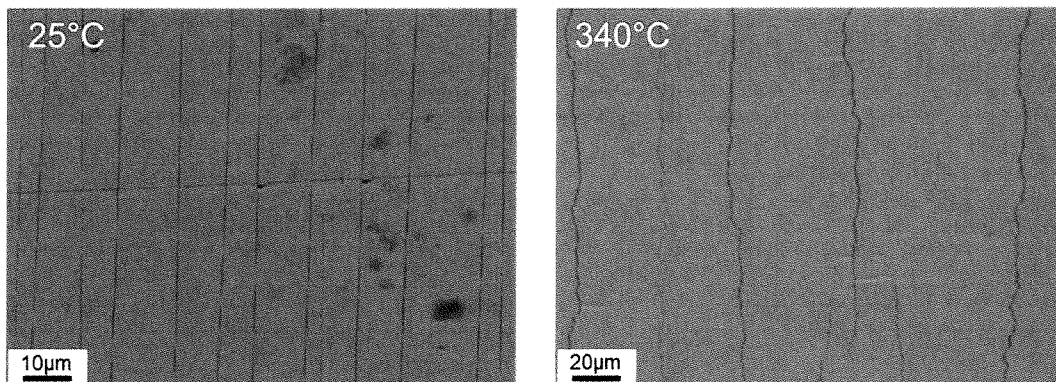


Fig. 6



5 Fig. 7

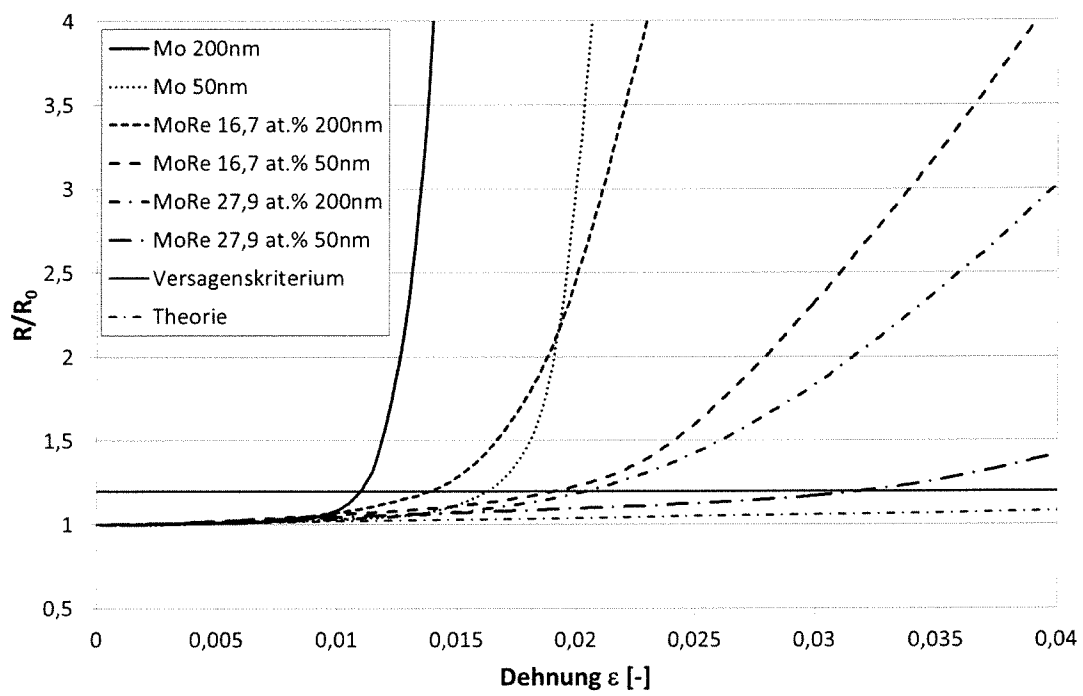


Fig. 8

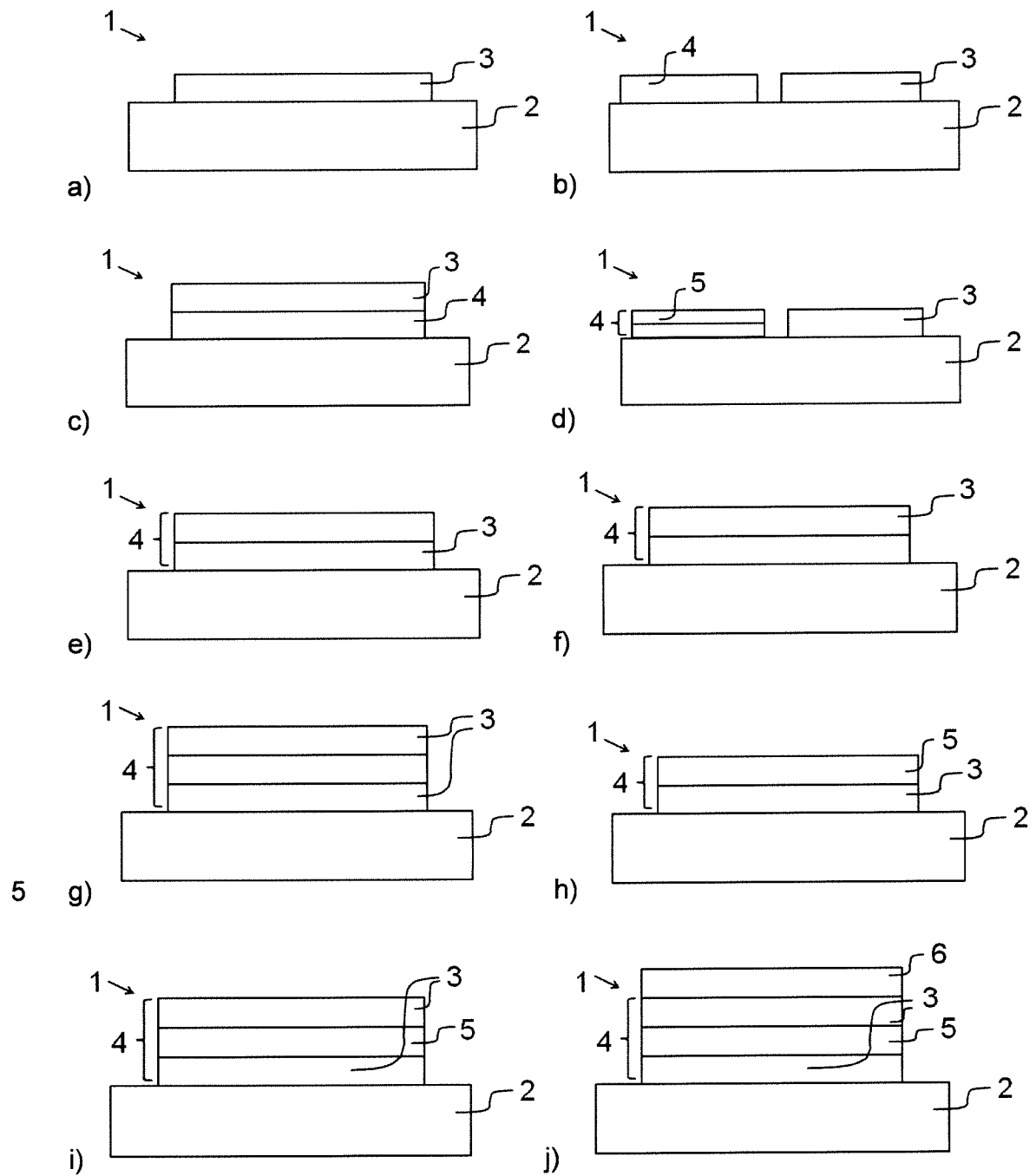


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2016/000094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L27/32
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 G02F

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, WPI Data, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 813 439 A1 (EUROPEAN CENTRAL BANK [DE]) 1 August 2007 (2007-08-01) paragraph [0021] - paragraph [0025] paragraph [0051] - paragraph [0052]; figure 1 paragraph [0036] paragraph [0039] - paragraph [0043] -----	1,2,6,8, 9,12, 14-17
X	EP 1 293 969 A1 (FUJI PHOTO FILM CO LTD [JP]) 19 March 2003 (2003-03-19) paragraph [0181] - paragraph [0183] paragraph [0190] - paragraph [0191]; table 3 -----	1-3,5,6, 15-17

☐

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

21 February 2017

Date of mailing of the international search report

01/03/2017

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

Beierlein, Udo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2016/000094

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
EP 1813439	A1	01-08-2007	EP	1813439 A1		01-08-2007
			ES	2402364 T3		03-05-2013

EP 1293969	A1	19-03-2003	DE	60212281 T2		16-05-2007
			EP	1293969 A1		19-03-2003
			EP	1457972 A1		15-09-2004
			US	2003134151 A1		17-07-2003
			US	2004197606 A1		07-10-2004
			US	2005008901 A1		13-01-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2016/000094

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L27/32
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L G02F

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 813 439 A1 (EUROPEAN CENTRAL BANK [DE]) 1. August 2007 (2007-08-01) Absatz [0021] - Absatz [0025] Absatz [0051] - Absatz [0052]; Abbildung 1 Absatz [0036] Absatz [0039] - Absatz [0043] -----	1,2,6,8, 9,12, 14-17
X	EP 1 293 969 A1 (FUJI PHOTO FILM CO LTD [JP]) 19. März 2003 (2003-03-19) Absatz [0181] - Absatz [0183] Absatz [0190] - Absatz [0191]; Tabelle 3 -----	1-3,5,6, 15-17

☐

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

21. Februar 2017

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

01/03/2017

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

Beierlein, Udo

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2016/000094

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 1813439	A1	01-08-2007	EP	1813439 A1	01-08-2007
			ES	2402364 T3	03-05-2013

EP 1293969	A1	19-03-2003	DE	60212281 T2	16-05-2007
			EP	1293969 A1	19-03-2003
			EP	1457972 A1	15-09-2004
			US	2003134151 A1	17-07-2003
			US	2004197606 A1	07-10-2004
			US	2005008901 A1	13-01-2005
