

(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. Mai 2013 (30.05.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/075155 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 1/00 (2006.01) **B23K 35/00** (2006.01)
B23K 1/19 (2006.01) **C04B 37/02** (2006.01)
B23K 35/32 (2006.01) **H01J 35/10** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2012/000296

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. November 2012 (22.11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
GM 640/2011 25. November 2011 (25.11.2011) AT

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

(72) Erfinder: MÜLLER, Thomas; Obere Platte 31, A-6604 Höfen (AT). ENNEMOSER, Klaus; Unterdorf 30, A-6610 Wängle (AT). GLATZ, Wolfgang; Tränkeweg 10, A-6600 Reutte (AT). MENHARD, Andreas; Seilbahnweg 7, A-6604 Höfen (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, DK,

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: PROCESS FOR PRODUCING A HIGH-TEMPERATURE-RESISTANT COMPOSITE BODY

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES HOCHTEMPERATURFESTEN VEBUNDKÖRPERS

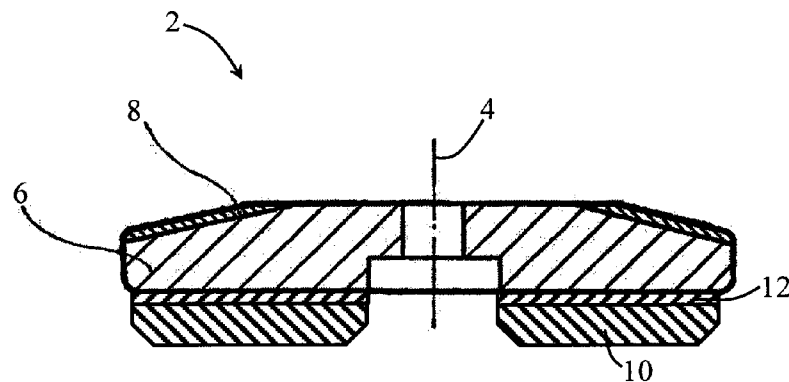


Fig. 1

(57) Abstract: The present invention relates to a process for producing a high-temperature-resistant composite body (2) by joining an area of a first, nonmetallic section (10) via a bonding solder layer (12) to a second, metallic section (6) composed of Mo, an Mo-based alloy, W or a W-based alloy. Here, a first arrangement composed of the first section (10), a first Zr solder and an intermediate layer is firstly soldered together in a first soldering step. A second arrangement composed of the resulting part composite body, a second solder adjoining the intermediate layer and the second section (6) is subsequently soldered together in a second soldering step. The intermediate layer is formed here to an extent of at least 90 atom% from at least one of the elements Ta, Nb and/or W. The second solder is formed by precisely one material from the group consisting of Ti, Ti-based solder combination, V-based solder combination, Zr or Zr-based solder combination and is selected such that it melts at a lower temperature than the first Zr solder in the second arrangement.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/075155 A1



Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines hochtemperaturfesten Verbundkörpers (2) durch flächiges Verbinden eines ersten, nichtmetallischen Abschnittes (10) über eine Lötverbundschicht (12) mit einem zweiten, metallischen Abschnitt (6) aus Mo, einer Mo-basierten Legierung, W oder einer W-basierten Legierung. Dabei wird zunächst eine erste Anordnung aus dem ersten Abschnitt (10), einem ersten Zr-Lot und einer Zwischenschicht in einem ersten Lötschritt verlötet. Anschließend wird eine zweite Anordnung aus dem erhaltenen Teil-Verbundkörper, einem an die Zwischenschicht angrenzenden, zweiten Lot und dem zweiten Abschnitt (6) in einem zweiten Lötschritt verlötet. Die Zwischenschicht ist dabei zu mindestens 90 at.% aus mindestens einem der Elemente Ta, Nb und/oder W gebildet. Das zweite Lot wird durch genau ein Material der Gruppe Ti, Ti-basierte Lotkombination, V-basierte Lotkombination, Zr oder Zr-basierte Lotkombination gebildet und ist derart gewählt, dass dieses in der zweiten Anordnung bei einer niedrigeren Temperatur als das erste Zr-Lot schmilzt.

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES HOCHTEMPERATURFESTEN VEBUNDKÖRPERS

- Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines hochtemperaturfesten Verbundkörpers sowie einen hochtemperaturfesten Verbundkörper, bei welchem ein erster, nicht-metallischer Abschnitt über eine Lötverbundschicht mit einem zweiten, metallischen Abschnitt aus Mo, einer Mo-basierten Legierung, W oder einer W-basierten Legierung verbunden ist.
- 5
- 10 Solche hochtemperaturfesten Verbundkörper sind insbesondere im Rahmen der Herstellung von Röntgendrehanoden bereitzustellen. Röntgendrehanoden werden in Röntgenröhren zur Erzeugung von Röntgenstrahlen eingesetzt. Röntgengeräte mit solchen Röntgendrehanoden werden insbesondere im medizinischen Bereich bei der bildgebenden Diagnostik eingesetzt. Im Einsatz
- 15 werden Elektronen aus einer Kathode der Röntgenröhre emittiert und in Form eines fokussierten Elektronenstrahls auf die, in Rotation versetzte Röntgendrehanode beschleunigt. Ein Großteil der Energie des Elektronenstrahls wird in der Röntgendrehanode in Wärme umgewandelt, während ein kleiner Anteil als Röntgenstrahlung abgestrahlt wird. Durch die Rotation der Röntgendrehanode
- 20 wird einer lokalen Überhitzung entgegengewirkt.

- Aufgrund der hohen Temperaturbelastungen ist das Grundmaterial von Röntgendrehanoden in der Regel aus einem hochschmelzenden Material ausgebildet, das zudem eine gute Wärmeleitfähigkeit zur Abführung der Wärme aufweisen soll. Zudem soll es auch bei hohen Temperaturen und bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten eine ausreichende, mechanische Stabilität bereitstellen. Geeignete Materialien für das Grundmaterial sind insbesondere Molybdän sowie Molybdän-basierte Legierungen (z.B. TZM, MHC), wobei auch Wolfram oder Wolfram-basierte Legierungen möglich sind. Als MHC wird in diesem Zusammenhang eine Molybdän-Legierung bezeichnet, die einen Hf-Anteil von 1,0 bis 1,3 Gew.% (Hf: Hafnium), einen C-Anteil von 0,05-0,12 Gew.%, einen O-Anteil von weniger als 0,06 Gew.% und den verbleibenden Anteil (abgesehen von Verunreinigungen) Molybdän aufweist. Um eine effektive Wärmeabstrahlung zu gewährleisten, werden zum Teil rückseitig des Grundkörpers von Rönt-
- 25
- 30

gendrehanoden Abstrahlkörper aus einem nicht-metallischen Material vorgesehen, die mit dem Grundkörper flächig (in der Regel durch Löten) verbunden sind. Ein geeignetes Material für den Abstrahlkörper ist insbesondere Graphit, das sich durch seine Abstrahlcharakteristik, Temperaturbeständigkeit und durch sein geringes Gewicht auszeichnet. Gerade dann, wenn die Röntgendrehanoden für hohe Strahlungsleistungen ausgelegt sein sollen, werden aufgrund der hohen Temperaturen, der hohen Temperaturgradienten und der hohen, mechanischen Belastungen (aufgrund der hohen Rotationsgeschwindigkeiten) besonders hohe Anforderungen an die Festigkeit des Grundkörpers der Röntgendrehanoden und an die Stabilität und die Langlebigkeit der Verbindung desselben mit dem Abstrahlkörper gestellt.

Wie in dem Fachgebiet bekannt ist, kann durch Umformen (z.B. Schmieden) eine besonders hohe Festigkeit von Mo, Mo-basierten Legierungen (z.B. TZM, MHC), W und W-basierten Legierungen erzielt werden. Werden diese nach dem Umformschritt über deren Rekristallisationstemperatur erhitzt, so wird deren Festigkeit reduziert (thermische Alterung). Dementsprechend ist bei der Herstellung von Röntgendrehanoden darauf zu achten, dass nach dem Umformschritt keine übermäßige Erwärmung erfolgt, um eine thermische Alterung des Grundkörpers zu minimieren. Auf der anderen Seite müssen für die Lötverbindung zwischen Grundkörper und Abstrahlkörper solche Lote eingesetzt werden, die auch bei den hohen Einsatztemperaturen eine ausreichende Stabilität gewährleisten. Zusätzlich wird an die Lötverbindung die Anforderung gestellt, dass diese auftretenden, mechanischen Spannungen zwischen den beiden Verbindungspartnern standhält. Solche mechanischen Spannungen, die insbesondere in der Ebene der Lötverbindung wirkende Kraftkomponenten aufweisen, entstehen insbesondere durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten der beiden Verbindungspartner, durch die hohen, auftretenden Temperaturgradienten und/oder durch die, aufgrund der Rotation wirkenden Kräfte.

30

Im Bereich der Röntgendrehanoden werden und wurden auch abweichende Konzepte entwickelt, bei welchen eine vergleichbare Problemstellung im Hinblick auf eine erforderliche, flächige Verbindung zwischen einem nicht-metallischen Abschnitt und einem metallischen Abschnitt aus Mo, einer Mo-

basierten Legierung, W oder einer W-basierten Legierung besteht. Ferner treten vergleichbare Problemstellungen bei solch einer flächigen Verbindung auch bei Röntgenanoden allgemein (z.B. Stehanoden) sowie zum Teil bei hochtemperaturfesten Verbundkörpern aus den genannten Materialien allgemein auf.

5

In der US 2002/0085678 A1 ist ein Verfahren zum Verbinden eines Molybdänlegierungssubstrates mit einer Graphitscheibe zu einer Röntgendrehanode beschrieben, bei welchem in einem ersten Schritt ein Molybdänlegierungsblatt mit der Graphitscheibe mit einem Reinmetalllot verlötet wird und in einem zweiten Schritt die plattierte Graphitunteranordnung mit dem Molybdänlegierungssubstrat unter Verwendung einer speziellen Lotlegierung verlötet wird. Als geeignete Lotlegierung sind insbesondere eine Ti-Cr-Be-Legierung (Titan-Chrom-Beryllium-Legierung) sowie eine Ti-Si-Legierung (Titan-Silicium-Legierung) beschrieben.

15

In der US 2011/0103553 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung einer Röntgenanode beschrieben, bei welchem ausgehend von einem Grundmaterial aus Molybdän oder einer Molybdänlegierung zu einem Kohlenstoff-Grundmaterial hin eine erste Lötsschicht aufweisend eine Nb-Ti-Legierung, eine zweite Lötsschicht aufweisend Nb oder eine Nb-Legierung und eine dritte Lötsschicht aufweisend Zr angeordnet werden und diese Anordnung in einem Schritt bei einer Temperatur im Bereich von 1.730 °C bis 1.900 °C gelötet wird. In der JP 2010-140879 A ist ein Verfahren zur Herstellung einer Röntgenanode beschrieben, bei welchem ausgehend von einem Grundmaterial aus Molybdän oder einer Molybdänlegierung zu einem Graphit-Grundmaterial hin eine erste Lötsschicht aus einer Ta-Ti-Legierung, eine zweite Lötsschicht aus Ta oder einer Ta-Legierung und eine dritte Lötsschicht aus Zr angeordnet werden und diese Anordnung in einem Schritt bei einer Temperatur im Bereich von 1.750°C bis 1.900 °C gelötet werden. Sowohl bei der US 2011/0103553 A1 als auch bei der JP 2010-140879 A wird jeweils die zweite Lötsschicht vorgesehen, um eine Diffusion von Zr und Mo zu vermeiden. In der ersten Lötsschicht wird das Material der zweiten Lötsschicht (Nb bzw. Ta) zu Ti zulegiert, um den Schmelzpunkt der ersten Lötsschicht zwischen dem vergleichsweise hohen Schmelzpunkt der zweiten Lötsschicht und dem vergleichsweise niedrigen Schmelzpunkt von reinem Ti einzustellen.

Dementsprechend besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, einen hochtemperaturfesten Verbundkörper und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen hochtemperaturfesten Verbundkörpers bereitzustellen, bei welchem ein
5 erster, nicht-metallischer Abschnitt über eine Lötverbindung mit einem zweiten, metallischen Abschnitt aus Mo, einer Mo-basierten Legierung, W oder einer W-basierten Legierung verbunden ist, wobei einerseits eine thermische Alterung des metallischen Abschnitts weitgehend verhindert wird und andererseits die Lötverbindung hohen Temperaturen, hohen Temperaturgradienten und hohen,
10 mechanischen Spannungen zwischen den beiden Abschnitten standhält.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie durch einen hochtemperaturfesten Verbundkörper gemäß Anspruch 13. Vorteilhafte
15 Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung eines hochtemperaturfesten Verbundkörpers durch flächiges Verbinden eines ersten, nicht-metallischen Abschnittes über eine Lötverbundschicht mit einem zweiten, metallischen Abschnitt aus Mo (Mo: Molybdän), einer Mo-basierten Legierung,
20 W (W: Wolfram) oder einer W-basierten Legierung, bereitgestellt. Das Verfahren weist dabei nachfolgende Schritte auf:

- A) Herstellen einer ersten Anordnung aus dem ersten Abschnitt, einem ersten Zr-Lot (Zr: Zirkonium) und einer Zwischenschicht in dieser Abfolge, wobei die Zwischenschicht zu mindestens 90 at. % aus mindestens einem
25 der Elemente Ta (Ta: Tantal), Nb (Nb: Niobium) und/oder W gebildet ist,
- B) Erwärmen der ersten Anordnung in einem ersten Lötschritt derart, dass das Zr-Lot, nicht aber die Zwischenschicht schmilzt und ein Teil-Verbundkörper erhalten wird,
- C) Herstellen einer zweiten Anordnung aus dem Teil-Verbundkörper, einem,
30 an die Zwischenschicht angrenzenden zweiten Lot und dem zweiten Abschnitt in dieser Abfolge, wobei das zweite Lot durch genau ein Material der Gruppe Ti, Ti-basierte Lotkombination, V-basierte Lotkombination, Zr oder Zr-basierte Lotkombination gebildet wird und derart gewählt ist, dass dieses in der zweiten An-

ordnung bei einer niedrigeren Temperatur als das erste Zr-Lot schmilzt, und

- D) Erwärmen der zweiten Anordnung in einem zweiten Lötschritt derart, dass das zweite Lot, nicht aber die aus dem ersten Zr-Lot erhaltene Lötverbindung schmilzt.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner einen hochtemperaturfesten Verbundkörper, der durch das erfindungsgemäße Verfahren hergestellt ist. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren können ferner auch eine oder mehrere der nachfolgend diskutierten Varianten und Weiterbildungen realisiert werden.

10

- Durch die Verwendung des ersten Zr-Lotes wird ein guter Halt an dem ersten, nicht-metallischen Abschnitt, der insbesondere aus einem Kohlenstoff-basierten Material (z.B. Graphit) gebildet ist, erzielt. Die Zwischenschicht aus den genannten Materialien Ta, Nb und/oder W, die einen hohen Schmelzpunkt aufweist und dementsprechend bei beiden Lötschritten nicht schmilzt, verhindert effektiv eine Diffusion von Elementen über die Zwischenschicht hinweg. Insbesondere wird, falls der erste Abschnitt aus einem Kohlenstoff-basierten Material gebildet ist, eine Diffusion von Kohlenstoff in den zweiten, metallischen Abschnitt (z.B. aus Mo oder einer Mo-Legierung) verhindert. Ferner wird durch die Zwischenschicht verhindert, dass – sofern der zweite, metallische Abschnitt aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung gebildet ist – aufgrund von Diffusion eine Vermischung von Zr aus dem ersten Zr-Lot und von Mo aus dem zweiten Abschnitt erfolgt und ein Eutektikum gebildet wird. Die Bildung solch eines Eutektikums mit vergleichsweise niedrigem Schmelzpunkt ist insbesondere bei Verbundkörpern, die für hohe Einsatztemperaturen ausgelegt sind, unerwünscht.

25

- Indem für das zweite Lot ein Material gewählt wird, das in der zweiten Anordnung bei einer niedrigeren Temperatur als das erste Lot schmilzt, kann der zweite Lötschritt bei einer niedrigeren Temperatur als der erste Lötschritt durchgeführt werden. Die beanspruchten Lotmaterialien für das zweite Lot weisen (alleine oder in Kombination mit dem daran angrenzenden, zweiten Abschnitt) eine niedrige Schmelztemperatur auf und eignen sich besonders gut für die Herstellung einer belastbaren Verbindung der Zwischenschicht mit dem zweiten, metallischen Abschnitt. Da der zweite, metallische Abschnitt nur bei

30

Durchführung des zweiten Lötsschrittes (auf eine vergleichsweise niedrige Temperatur) erwärmt wird, wird eine thermische Alterung des zweiten Abschnittes weitgehend vermieden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn der zweite Abschnitt und/oder ein fest damit verbundener Abschnitt aus einem umgeformten Material besteht/bestehen.

Weiterhin ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorteilhaft, dass durch die dreilagige (oder gegebenenfalls auch mehrlagige) Lötverbundschicht eine Verbindung hergestellt wird, durch die zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt auftretende Spannungen effektiv ausgeglichen werden. Dieser ausgleichende Effekt wird besonders dann erreicht, wenn als Material für die Zwischenschicht Ta und/oder Nb eingesetzt werden. Dabei ist insbesondere bevorzugt, dass die Zwischenschicht zu mindestens 90 at.% aus Ta und/oder Nb, insbesondere zu mindestens 90 at.% aus Ta allein oder zu mindestens 90 at.% aus Nb allein gebildet ist. Denn bei diesen Materialien weist die Zwischenschicht bei den Einsatztemperaturen elastische und zum Teil plastische Eigenschaften auf und gleicht so effektiv zwischen den beiden Abschnitten auftretende Spannungen sowie sich zum Teil in den angrenzenden Lötsschichten ausbildende Risse aus. Vorzugsweise ist die Zwischenschicht zu mindestens 99 at.% aus Ta und/oder Nb, insbesondere zu mindestens 99 at.% aus genau einem Element, d.h. aus Ta allein oder aus Nb allein, ausgebildet. Nb ist im Hinblick darauf, dass es preiswerter und leichter ist, vorteilhaft. Die elastisch plastischen Eigenschaften sind besonders ausgeprägt, wenn die Zwischenschicht im Wesentlichen nur aus einem Element und mit möglichst hoher Reinheit ausgebildet ist. Umgekehrt kann durch Zulegieren von weiteren Elementen (beispielsweise bis zu 10 at.%, insbesondere bis zu 5 at.%) gezielt eine höhere Festigkeit der Zwischenschicht eingestellt werden. Wird eine Zwischenschicht aus W (d.h. zu mindestens 90 at.%, insbesondere zu mindestens 99 at.%) eingesetzt, so bildet diese eine effektive Diffusionssperre und zeichnet sich durch eine hohe Festigkeit aus, die auch bei hohen Einsatztemperaturen in hohem Maße erhalten bleibt.

Wie eingangs erläutert wird, ist das erfindungsgemäße Verfahren im Rahmen der Herstellung einer Röntgendrehanode zum Verbinden eines metallischen

Grundkörpers aus Mo, einer Mo-basierten Legierung (insbesondere TZM oder MHC), W oder einer W-basierten Legierung mit einem nicht-metallischen Abstrahlkörper, der insbesondere aus Graphit ausgebildet ist, besonders gut geeignet. Insbesondere ist es zur Verbindung eines Grundkörpers aus TZM (oder gegebenenfalls einer anderweitigen, Mo-basierten Legierung, wie beispielsweise MHC) mit einem Abstrahlkörper aus Graphit geeignet. In der Vergangenheit und in der zukünftigen Entwicklung sind im Bereich von Röntgendrehanoden aber auch anderweitige Materialkombinationen für den ersten und den zweiten Abschnitt möglich. Diese ergeben sich insbesondere dadurch, dass für den Grundkörper und/oder für den Abstrahlkörper anderweitige Materialien eingesetzt werden (z.B. reines Mo, W oder W-basierte Legierung für den Grundkörper; Kohlenstoff-faserverstärkter Kohlenstoff oder Kohlenstoff-faserverstärktes Siliziumcarbid für den Abstrahlkörper), dass andere Bauteile einer Röntgendrehanode durch das erfindungsgemäße Verfahren verbunden werden (z.B. im Bereich des Stils einer Röntgendrehanode) oder dass anderweitige Konzepte zur Realisierung der Röntgendrehanode entwickelt werden. Bei den anderweitigen Konzepten sind beispielsweise Entwicklungen dahingehend zu berücksichtigen, dass (im Hinblick auf eine Gewichtsoptimierung) der Grundkörper der Röntgendrehanode aus einem C-basierten Material (z.B. aus einem Kohlenstoff-faserverstärkten Kohlenstoff) oder aus einer Keramik (z.B. Siliziumcarbid (SiC), Siliziumnitrid (Si_3N_4), Aluminiumnitrid (AlN), Borcarbid (B_4C), Kohlenstoff-faserverstärktes Siliziumcarbid (C-SiC) oder Siliziumcarbid-faserverstärktes Siliziumcarbid (SiC-SiC)) ausgebildet werden kann, und auf diesen direkt eine Brennbahn (aus z.B. W oder einer W-basierten Legierung, wie beispielsweise eine Wolfram-Rhenium-Legierung) gelötet wird, wobei für diese Verbindung ebenfalls das erfindungsgemäße Lötverfahren anwendbar ist. Alternativ kann auf solch einen nicht-metallischen Grundkörper auch zunächst ein metallischer Verbindungsabschnitt (aus z.B. Mo oder einer Mo-basierten Legierung, wie beispielsweise TZM oder MHC) mit dem erfindungsgemäßen Verfahren aufgelötet werden, um auf den Verbindungsabschnitt dann die Brennbahn (aus z.B. W oder einer W-basierten Legierung) aufzubringen. Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren auch angewendet werden, um solch einen nicht-metallischen Grundkörper mit weiteren, metallischen Verbindungspartnern, beispielsweise im Bereich des Stils, zu verbinden.

Ferner ist das erfindungsgemäße Verfahren auch allgemein bei Röntgenanoden (z.B. Stehanoden) anwendbar, bei denen – je nach Ausführung - ebenfalls eine hochtemperaturfeste Verbindung von zwei Abschnitten aus den entsprechenden Materialien erforderlich sein kann. Weiterhin ergeben sich auch über den Bereich von Röntgendrehanoden hinaus Anwendungen, in denen zwei Abschnitte aus den jeweils beanspruchten Materialien durch eine hochtemperaturfeste Verbindung miteinander zu verbinden sind und dementsprechend das erfindungsgemäße Verfahren anwendbar ist.

10

Unter einer Mo-basierten bzw. W-basierten Legierung wird auf eine Legierung Bezug genommen, die zu mindestens 50 at.% Mo bzw. W, insbesondere zu mindestens 90 at.% Mo bzw. W aufweist. Insbesondere ist der zweite, metallische Abschnitt aus einer Mo-Legierung gebildet, wobei TZM eine, im Bereich von Röntgendrehanoden besonders bewährte Mo-Legierung ist. Ferner wird auch MHC häufig eingesetzt. Ein „flächiges Verbinden“ ist unabhängig davon gegeben, ob die zu verbindenden Flächen eben oder gekrümmt sind. Mit einem „hochtemperaturfesten Verbundkörper“ wird auf einen Verbundkörper Bezug genommen, bei welchem die Lötverbindung insbesondere (lokal an der Lötverbindung herrschenden) Temperaturen im Bereich von 1.000 – 1.600 °C standhält, wobei der erste und/oder der zweite Abschnitt im Einsatz auch höhere Temperaturen aufweisen können (z.B. bei Röntgendrehanoden sind im Bereich der Brennbahn bis zu 2.500 °C üblich).

25 Mit einem Zr-Lot (sowohl bei dem ersten als auch bei dem zweiten Lot) wird auf ein Lot Bezug genommen, das im Wesentlichen, insbesondere zu mindestens 90 at.%, aus reinem Zr besteht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass üblicherweise eingesetzte Zr-Lote allgemein einen relativ hohen Anteil an Verunreinigungen bzw. Zusätzen aufweisen (z.B. Hf; Hf: Hafnium), die typischerweise im Bereich von bis zu 5 at.% liegen. Üblich ist beispielsweise ein Hf-Anteil von 2,35 at.%. Mit „Lotkombination“ wird sowohl auf die Variante Bezug genommen, dass die betreffenden Elemente bereits als Legierung oder als fein vermischte Paste (Metallpulver mit flüssiger Binderphase) vorliegen, als auch auf die Variante, dass die Lotkombination durch zwei oder mehrere Folien oder Einzel-

schichten unterschiedlicher Zusammensetzung, insbesondere durch Folien oder Einzelschichten aus den jeweiligen Einzelementen, gebildet wird. Ferner kann das (erste wie auch das zweite) Lot – wie in dem Fachgebiet bekannt ist – unter anderem als Folie, als metallische Schicht (aufgebracht durch ein Beschichtungsverfahren, z.B. CVD, Plasmaspritzen, etc.) oder als Paste aufgebracht werden. In Bezug auf das zweite Lot wird mit einer Ti-, V-, oder Zr-basierten Lotkombination auf ein Lot Bezug genommen, welches das betreffende Element Ti, V bzw. Zr zu mindestens 50 at.% aufweist. Vorzugsweise wird das zweite Lot aus genau einem oder maximal zwei Elementen gebildet (abgesehen von Verunreinigungen oder Zusätzen, die einen maximalen Anteil von 5 at.% bilden können). Mit einem Ti-Lot wird auf ein Lot Bezug genommen, das im Wesentlichen, insbesondere zu mindestens 95 at.%, aus reinem Ti besteht. Wird für das zweite Lot eine V-basierte oder eine Zr-basierte Lotkombination eingesetzt, so ist der zweite (und vorzugsweise einzige weitere) Bestandteil der Lotkombination vorzugsweise Ti. Dadurch wird ein relativ niedriger Schmelzpunkt der zweiten Lotkombination erreicht. Für das zweite Lot wird insbesondere innerhalb der beanspruchten Varianten ein solches Material gewählt, das einen niedrigeren Schmelzpunkt als das erste Lot aufweist. Dies kann – wie dem Fachmann bekannt ist – anhand der binären bzw. ternären Phasendiagramme bestimmt werden. Gegebenenfalls kann das zweite Lot alleine auch einen höheren oder gleichen Schmelzpunkt als das erste Lot aufweisen, wobei sich der niedrigere Schmelzpunkt erst durch die Anlage an den zweiten Abschnitt bzw. ggf. auch durch die Anlage an die Zwischenschicht ergibt, so dass aufgrund der stattfindenden Diffusion während des Lötens eine Schmelzpunktterniedrigung auftritt und das zweite Lot von der Seite der Anlagefläche her aufschmilzt. Dies ist beispielsweise bei einem Zr-Lot und bei einer Zr-basierten Lotkombination der Fall, das mit Mo (aus dem zweiten Abschnitt) ein Eutektikum niedrigerer Schmelztemperatur bildet. Bei dem Schritt des Erwärmens während des zweiten Lötschrittes (Schritt D)) erfolgt das Erwärmen nur auf eine vergleichsweise niedrigere Temperatur und/oder nur für eine vergleichsweise kurze Dauer, um so zu erreichen, dass nur das zweite Lot, nicht aber das erste Lot schmilzt.

Der erste wie auch der zweite Abschnitt können gegebenenfalls auch Abschnitte eines jeweils größeren Bauteils oder einer Baugruppe sein. Die erfindungsgemäße Lötverbundschicht wird vorzugsweise aus genau den drei Lagen (erstes Lot, Zwischenschicht, zweites Lot) gebildet. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass auch noch weitere Schichten zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt vorgesehen werden.

Gemäß einer Weiterbildung ist die bei dem zweiten Lötschritt maximal erreichte Ofentemperatur um mindestens 100 °C niedriger als die bei dem ersten Lötschritt maximal erreichte Ofentemperatur. Auf diese Weise wird effektiv eine thermische Alterung des zweiten Abschnittes vermieden. Insbesondere liegt die Temperaturdifferenz in einem Bereich zwischen einschließlich 200 °C bis einschließlich 400 °C, wodurch dieser vorteilhafte Effekt noch verstärkt wird. Wie hoch diese Temperaturdifferenz gewählt werden kann (bzw. welche Mindesttemperatur bei dem jeweiligen Lötschritt eingestellt werden muss), hängt von den jeweils verwendeten Loten ab. Mit „maximaler Ofentemperatur“ wird dabei auf die, beim Durchlaufen des Temperaturprofils maximal erreichte Ofentemperatur Bezug genommen (die üblicherweise für einen Zeitraum von 5-10 Minuten gehalten wird). Gemäß einer Weiterbildung wird bei dem ersten Lötschritt eine maximale Ofentemperatur im Bereich von einschließlich 1.800 °C bis einschließlich 2.000 °C, insbesondere im Bereich von einschließlich 1.900 °C bis einschließlich 1.980 °C, eingestellt und bei dem zweiten Lötschritt wird eine maximale Ofentemperatur im Bereich von einschließlich 1.550 °C bis einschließlich 1.720 °C, insbesondere im Bereich von einschließlich 1.550 °C bis einschließlich 1.650 °C, eingestellt. Je nach Lotmaterialien für das zweite Lot sind bei dem zweiten Lötschritt beispielsweise maximale Ofentemperaturen im Bereich von 1.620 °C (+/- 10 °C), gegebenenfalls auch von 1.550 °C (+/- 10 °C) möglich. Vorzugsweise wird diese maximale Ofentemperatur auch über eine vorbestimmte Zeitdauer, insbesondere in einem Bereich von 3 bis 20 Minuten, bevorzugt in einem Bereich von 5 bis 10 Minuten, gehalten. In der Regel kann dann davon ausgegangen werden, dass das jeweils aufzuschmelzende Lot im Wesentlichen diese maximale Ofentemperatur erreicht.

Gemäß einer Weiterbildung wird das Material des zweiten Lotes derart gewählt, dass es in der zweiten Anordnung einen Schmelzpunkt im Bereich von einschließlich 1.550 °C bis einschließlich 1.680 °C, insbesondere im Bereich von 1.600 °C (z.B. Ti-V-Lotkombination) bis 1.670 °C (z.B. Ti-Lot) aufweist. Auf diese Weise kann die Temperatur bei dem zweiten Lötsschritt entsprechend niedrig gewählt werden und eine thermische Alterung des zweiten Abschnittes wird vermieden. Falls das jeweilige Lot durch eine Lotkombination gebildet wird, wird grundsätzlich der Schmelzpunkt als maßgeblich erachtet, der sich durch die betreffende Lot-Zusammensetzung (gemäß dem Phasendiagramm) ergibt, unabhängig davon, wie diese Lotkombination vorliegt (z.B. als Legierung, als Paste, als separate Folien, etc.). Denn selbst bei Vorliegen als getrennte Folien ist davon auszugehen, dass sich dieser Zusammensetzungsbereich zunächst an der Grenzfläche aufgrund von Diffusionseffekten einstellt und die Lotkombination von der Grenzfläche her aufschmilzt. Zusätzlich kann je nach Lot und je nach Material, welches an das Lot angrenzt, auch in dem Bereich dieser Grenzfläche aufgrund von Diffusionseffekten eine Schmelzpunktserniedrigung auftreten. Insbesondere ist bei einem Zr-Lot sowie bei einer Zr-basierten Lotkombination zu berücksichtigen, dass es in Kombination mit Mo ein Eutektikum bildet. Dementsprechend ergibt sich durch Anlage des Lotes an einen Abschnitt aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung und durch Diffusionseffekte ein niedriger Schmelzpunkt (in der Regel der Schmelzpunkt des Eutektikums) als der Schmelzpunkt des Lotes allein.

Gemäß einer Weiterbildung wird das zweite Lot durch genau eines der nachfolgenden Lote gebildet:

- ein Ti-Lot,
 - eine Ti-V-Lotkombination,
 - ein Zr-Lot, oder
 - eine Zr-Ti-Lotkombination.
- Bei diesen Lotkombinationen kann, wie unterhalb im Detail erläutert wird, ein besonders niedriger Schmelzpunkt erzielt werden. Dadurch kann eine thermische Alterung des zweiten, metallischen Abschnittes weitgehend vermieden werden. Die binären Lotkombinationen weisen jeweils vollkommene Löslichkeiten im flüssigen Zustand auf, was für die Durchführung der Lötung vorteilhaft

ist. Ferner eignen sich diese Lote besonders gut für eine zuverlässige Verbindung mit dem zweiten, metallischen Abschnitt. Diese vorteilhaften Eigenschaften werden in besonderem Maße dann erzielt, wenn das zweite Lot durch eine Ti-V-Lotkombination gebildet wird. Denn das binäre System aus Ti und V weist ein Schmelzpunktsminimum auf, so dass ein niedrigerer Schmelzpunkt als bei reinem Ti erreichbar ist. Insbesondere weist die Ti-V-Lotkombination einen Anteil von einschließlich 12 at.% bis einschließlich 50 at.% V und den verbleibenden Anteil Ti auf. Der V-Anteil an der Ti-V-Lotkombination liegt insbesondere in einem Bereich von einschließlich 20 at.% bis einschließlich 40 at.%. Besonders bevorzugt ist ein V-Anteil an der Ti-V-Lotkombination von genau 31 at.% oder in einem Bereich um 31 at.% (z.B. +/- 4 at.%), was dem Schmelzpunkts-Minimum des binären Systems entspricht.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht ferner, dass nach dem Verbinden der Zwischenschicht mit dem ersten Abschnitt eine Nachbearbeitung der (freien) Oberfläche der Zwischenschicht erfolgen kann. Gemäß einer Weiterbildung wird die Oberfläche der Zwischenschicht des Teil-Verbundkörpers nach dem ersten Lötschritt und vor dem Herstellen der zweiten Anordnung mechanisch und/oder chemisch bearbeitet, wobei insbesondere eine mechanische Bearbeitung bevorzugt ist. Auf diese Weise kann während des ersten Lötsteps (der bei vergleichsweise hohen Temperaturen durchgeführt wird), eine stabile Zwischenschicht verwendet werden. Dementsprechend werden unerwünschte Verformungen oder ein Verzug, die bei dem ersten Lötschritt auftreten können, effektiv werden. Anschließend kann die Zwischenschicht auf eine gewünschte Dicke oder auf ein gewünschtes Dickenprofil reduziert werden. Insbesondere kann die lokale, durch die Zwischenschicht bereitgestellte Ausgleichswirkung gezielt eingestellt werden. Beispielsweise kann im Bereich der Brennbahn eine unterschiedliche Dicke als in den verbleibenden Bereichen eingestellt werden. Alternativ oder zusätzlich kann auch eine gewünschte Strukturierung eingebracht werden, beispielsweise um die Haftung des zweiten Lotes zu erhöhen. Gemäß einer Weiterbildung wird die Oberfläche der Zwischenschicht des Teil-Verbundkörpers nach dem ersten Lötschritt und vor dem Herstellen der zweiten Anordnung mechanisch derart bearbeitet, dass diese mindestens zwei unterschiedliche Niveaus aufweist. Beispielsweise kann bei einer

- Röntgendrehanode eine ringförmige Vertiefung mit konstant niedrigerem Niveau in die Zwischenschicht eingearbeitet werden. Der Niveauunterschied kann – je nach Gesamtdicke der Zwischenschicht - beispielsweise im Bereich von 0,2 bis 0,8 mm liegen. Insbesondere ist eine stufenförmige Ausbildung des mindestens einen Niveauunterschiedes bevorzugt. Hierdurch kann bei einer entsprechenden Formgebung des zu verbindenden Flächenabschnittes des zweiten, metallischen Abschnittes zusätzlich zu einer stoffschlüssigen Verbindung auch ein Formschluss bereitgestellt werden, was die Stabilität im Einsatz noch weiter erhöhen kann (insbesondere in radialer Richtung). In letzterem Fall ist bevorzugt, dass auch die, zwischen der Zwischenschicht und dem zweiten, metallischen Abschnitt eingesetzte, mindestens eine Lotfolie entsprechend in mehrere Teil-Lotfolien unterteilt ist, um so einen guten Eingriff der jeweiligen Kanten der Zwischenschicht und des zweiten, metallischen Abschnittes zu ermöglichen.
- 15 Gemäß einer Weiterbildung liegt die mittlere Dicke der Zwischenschicht im Bereich von einschließlich 100 μm bis einschließlich 2.000 μm . Gute Ergebnisse wurden insbesondere bei Schichtdicken im Bereich von 600 μm erzielt, wobei dieser Bereich ($\pm 50 \mu\text{m}$) auch aus Kostengründen vorteilhaft ist. Bei der Verwendung von Nb und/oder Ta als Haupt-Bestandteil der Zwischenschicht ist
- 20 aufgrund von deren elastisch plastischen Eigenschaften bei den fraglichen Einsatztemperaturen vorteilhaft, wenn diese vergleichsweise dick ausgebildet sind (z.B. auch Bereiche von einschließlich 1.200 μm bis einschließlich 2.000 μm möglich), um so eine besonders gute Ausgleichsfunktion zwischen dem ersten und dem zweiten Abschnitt bereitzustellen. Erfolgt nach dem ersten Lötschritt
- 25 eine Bearbeitung der Zwischenschicht, die zu einem Materialabtrag führt, so wird mit den oberhalb angegebenen Dicken auf die reduzierte (ggf. mittlere) Schichtdicke der Zwischenschicht Bezug genommen. Eine vor dem Bearbeiten eingesetzte Schichtdicke der Zwischenschicht ist insbesondere entsprechend höher, beispielsweise im Bereich von einschließlich 350 μm bis einschließlich
- 30 3.000 μm . Erfolgt eine Bearbeitung der Zwischenschicht nach dem ersten Lötschritt, so können insbesondere gute Ergebnisse bei (Ausgangs-) Schichtdicken im Bereich von 1.000 μm erzielt werden, wobei dieser Bereich ($\pm 50 \mu\text{m}$) auch aus Kostengründen vorteilhaft ist. Allgemein wird bei der Angabe von Schichtdicken (vor oder nach dem Löten) auf eine Dicke Bezug genommen, die

an einem, senkrecht zu der betreffenden Schicht verlaufenden Querschnitt (der bei Röntgendrehanoden insbesondere entlang der radialen Richtung verläuft) gemessen wird. Variiert die Schichtdicke über den Verlauf innerhalb des betreffenden Querschnitts, so wird sie gemittelt, wobei hierzu das arithmetische Mittel
5 einer Mehrzahl von Messpunkten, die über den Schichtverlauf entlang dem Querschnitt gleichmäßig verteilt sind, herangezogen wird.

Gemäß einer Weiterbildung liegt die mittlere Dicke des ersten Lotes im Bereich von einschließlich 80 μm bis einschließlich 500 μm , wobei Dicken im Bereich
10 von 250 μm (+/- 50 μm) besonders gut geeignet sind. Gemäß einer Weiterbildung liegt die mittlere Dicke des zweiten Lotes im Bereich von einschließlich 30 μm bis einschließlich 400 μm , wobei Dicken im Bereich von 180 μm (+/- 50 μm) besonders gut geeignet sind. Hierbei wird auf die Dicken vor dem Schritt des Lötens Bezug genommen (zumindest für die Fälle, in denen Folien oder Be-
15 schichtungen aus den jeweiligen, reinen Lotmaterialien eingesetzt werden), bei Pasten können sich – je nach Zusammensetzung – etwas höhere Schichtdicken ergeben. Nach dem Schritt des Lötens treten zumindest im Bereich der Grenzflächen Diffusionseffekte auf.

20 Gemäß einer Weiterbildung ist der erste Abschnitt aus einem C-basierten Material gebildet. Geeignete Materialien sind insbesondere Graphit oder ein Kohlenstoff-faserverstärkter Kohlenstoff (CFC: engl.: carbon-fiber-reinforced carbon). Gemäß einer Weiterbildung ist der erste Abschnitt aus einer Keramik gebildet. Geeignete Keramiken sind insbesondere Siliziumcarbid (SiC), Siliziumnitrid
25 (Si_3N_4), Aluminiumnitrid (AlN) und Borcarbid (B_4C). Gemäß einer Weiterbildung wird die Keramik aus einer faserverstärkten Keramik gebildet. Geeignete, faserverstärkte Keramiken sind unter anderem Kohlenstoff-faserverstärkte und Siliziumcarbid-faserverstärkte Keramiken, insbesondere Kohlenstoff-faserverstärktes Siliziumcarbid (C-SiC) und Siliziumcarbid-faserverstärktes Siliziumcarbid (SiC-
30 SiC). Ferner ist gemäß einer Weiterbildung vorgesehen, dass der zweite Abschnitt aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung gebildet ist. Wie oberhalb erläutert wird, sind dies insbesondere im Bereich von Röntgenanoden eingesetzte Materialien. Besonders gängige Materialien sind insbesondere Graphit für den ersten Abschnitt und eine Mo-basierte Legierung (insbesondere TZM oder auch

MHC) für den zweiten Abschnitt. Gemäß einer Weiterbildung bilden sowohl der erste Abschnitt als auch der zweite Abschnitt jeweils Abschnitte von Bauteilen einer Röntgenanode, insbesondere einer Röntgendrehanode. Insbesondere wird – wie oberhalb erläutert wird - der erste Abschnitt durch einen Abstrahlkörper und der zweite Abschnitt durch einen Grundkörper einer Röntgendrehanode gebildet. Wie oberhalb erläutert wird, ist das erfindungsgemäße Verfahren auch für die Verbindung anderer Bauteile einer Röntgendrehanode geeignet. Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren auch bei der Realisierung anderweitiger Konzepte von Röntgendrehanoden eingesetzt werden, sofern entsprechende Abschnitte an einer Röntgendrehanode oder daran angrenzender Bauteile zu verbinden sind.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner einen hochtemperaturfesten Verbundkörper, bei welchem ein erster, nicht-metallischer Abschnitt über eine Lötverbundschicht mit einem zweiten, metallischen Abschnitt aus Mo, einer Mo-basierten Legierung, W oder einer W-basierten Legierung verbunden ist. Dabei ist der erste Abschnitt über eine erste, aus einem Zr-Lot gebildete Lötverbindung mit einer Zwischenschicht, die zumindest in einem Kernbereich zu mindestens 90 at.% aus mindestens einem der Elemente Ta, Nb und/oder W gebildet ist, verbunden. Die Zwischenschicht wiederum ist über eine zweite Lötverbindung, die aus einem Ti-Lot, aus einer Ti-V-Lotkombination, aus einem Zr-Lot oder aus einer Zr-Ti-Lotkombination gebildet ist, mit dem zweiten Abschnitt verbunden. Bei dem erfindungsgemäßen hochtemperaturfesten Verbundkörper werden im Wesentlichen die gleichen Vorteile wie bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt. Wie oberhalb beschrieben wird, ermöglichen insbesondere die genannten Lot-Materialien (Ti-Lot, Ti-V-Lotkombination, Zr-Lot oder Zr-Ti-Lotkombination), dass aufgrund von deren niedrigem Schmelzpunkt zur Realisierung der zweiten Lötverbindung eine vergleichsweise niedrige Löttemperatur erforderlich ist. Dementsprechend wird – sofern das Lötverfahren zweistufig ausgeführt wird – eine thermische Alterung des metallischen Abschnittes weitgehend vermieden. Insbesondere weist der metallische Abschnitt innerhalb des Verbundkörpers eine hohe Festigkeit auf, da diese nicht oder nur geringfügig während des zweiten Lötschrittes reduziert wurde. Ferner ergibt eine statistische Auswertung von zweiten Abschnitten der erfindungsgemäßen Verbund-

körper, dass diese aufgrund der niedrigeren Löttemperatur während des zweiten Lötsschrittes eine höhere, mittlere Biegebruchfestigkeit aufweisen und ferner die statistische Breite der Verteilung (der Werte für die Biegebruchfestigkeit) schmaler ist als bei Durchführung eines einheitlichen Lötsschrittes mit einer maximalen (höheren) Löttemperatur, die zum Schmelzen des Zr-Lotes erforderlich ist. Sowohl die höheren Werte für die Biegebruchfestigkeit als auch die schmale Verteilungskurve sind insbesondere dann vorteilhaft, wenn im Rahmen der Produktion eine gewünschte, relativ hohe Festigkeit des zweiten, metallischen Abschnittes innerhalb des Verbundkörpers bereitgestellt werden soll.

10

Mit dem Merkmal, dass die jeweilige Lötverbindung aus einem der genannten Lote gebildet wird, wird auf eine Ausgestaltung Bezug genommen, dass das Lot zur Herstellung der Verbindung zwischen dem jeweiligen Abschnitt und der Zwischenschicht ausschließlich aus den genannten Lot-Materialien gebildet wird. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass während des Lötens Diffusion auftritt und dementsprechend innerhalb der Lötsschicht (nach dem jeweiligen Lötsschritt) insbesondere Materialien aus der Zwischenschicht und aus dem jeweiligen Abschnitt enthalten sind. Ferner kann auch vorgesehen sein, dass der erste und/oder der zweite Abschnitt und/oder die Zwischenschicht mit einer Beschichtung (z.B. CVD-Beschichtung, PVD-Beschichtung, Plasmaspritz-Beschichtung, etc.), die beispielsweise als Diffusionssperre oder Schutz des jeweiligen Abschnittes dient, versehen ist/sind. Bevorzugt ist jedoch, dass das Lot jeweils direkt an das Grundmaterial des ersten und/oder zweiten Abschnittes sowie an das Grundmaterial der Zwischenschicht angrenzt.

25

Insbesondere bei Verwendung von Ti-Lot und von Ti-V-Lotkombinationen und zum Teil auch allgemein bei Ti-basierten Lotkombinationen ist ein vorteilhafter Effekt, dass diese einen vergleichsweise niedrigen Schmelzpunkt aufweisen. Weiterhin ist vorteilhaft, dass in der (zweiten) Anordnung des Verbundkörpers während der Durchführung des zweiten Lötsschrittes Material aus der angrenzenden Zwischenschicht und Material aus dem angrenzenden, zweiten Abschnitt in die Lötsschicht hineindiffundiert. Bei diesen Loten führt diese Diffusion bei den vorliegend in Frage kommenden Materialien zu einer Schmelzpunkterhöhung. Dies führt dazu, dass während der Durchführung der Lötung (bei mo-

30

deraten Temperaturen) das Material der Lötsschicht von den an den zweiten Abschnitt und an die Zwischenschicht angrenzenden Grenzflächen beginnend zu der Mitte der Lötsschicht hin erstarrt. Dieser fortschreitende Erstarrungsvorgang ist für die Ausbildung der Lötsschicht vorteilhaft. Weiterhin ist insbesondere für

5 Anwendungen bei relativ hohen Einsatztemperaturen vorteilhaft, dass die Wiederaufschmelztemperatur der zweiten Lötverbindung höher ist als die Schmelztemperatur des reinen, zweiten Lotes. Je höher die Löttemperatur und/oder Dauer des zweiten Lötsschrittes ist, desto stärker sind die Diffusionseffekte ausgeprägt und dementsprechend wird die Wiederaufschmelztemperatur entsprechend

10 weiter erhöht. Indem der zweite Lötsschritt bevorzugt bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen durchgeführt wird, sind die Diffusionseffekte relativ klein, beispielsweise verglichen zu einem einheitlichen Lötsschritt, wie er in der US 2011/0103553 A1 und der JP 2010-140879 A beschrieben ist. Dementsprechend ist ein, die zweite Lötverbindung charakterisierendes Merkmal, welches

15 auf die vergleichsweise niedrigen Temperaturen während des zweiten Lötsschrittes zurückführbar ist, die für das jeweils eingesetzte Lot vergleichsweise niedrige Wiederaufschmelztemperatur.

Gemäß einer Weiterbildung ist die zweite Lötverbindung aus einem Ti-Lot mit

20 einer Wiederaufschmelztemperatur von maximal 1.860 °C gebildet. Insbesondere liegt die Wiederaufschmelztemperatur in einem Bereich von einschließlich 1.740 °C bis 1.790 °C. Gemäß einer Weiterbildung ist die zweite Lötverbindung aus einer Ti-V-Lotkombination mit einer Wiederaufschmelztemperatur von maximal 1.780 °C gebildet. Insbesondere liegt die Wiederaufschmelztemperatur in

25 einem Bereich von einschließlich 1.650 °C bis einschließlich 1.700 °C. Die Werte beziehen sich dabei auf einen Verbundkörper im Neuzustand (d.h. nach Durchführung der Lötung). Denn bei einem Einsatz bei hohen Temperaturen tritt weitere Diffusion auf, was zu einer weiteren Erhöhung der Wiederaufschmelztemperatur führen würde. Das anwendbare Messverfahren zur Bestimmung der Wiederaufschmelztemperatur wird unterhalb unter Bezugnahme

30 auf die Figuren erläutert.

Geeignete Bereiche für die mittleren Dicken der ersten Lötverbindung, des Kernbereichs der Zwischenschicht und der zweiten Lötverbindung innerhalb

des (gelöteten) hochtemperaturfesten Verbundkörpers entsprechen jeweils den oberhalb für die mittleren Dicken des ersten Lotes, der Zwischenschicht und des zweiten Lotes angegebenen Werte. Während der Durchführung der Lötsschritte treten die oberhalb beschriebenen Diffusionseffekte im Bereich der Grenzflächen auf. Als Grenzfläche einer Schicht bzw. eines Abschnittes im gelöteten Zustand wird insbesondere die Fläche gewählt, bei welcher die Konzentration des Materials der betreffenden Schicht bzw. des betreffenden Abschnitts auf 90 at.% abgefallen ist. Ferner ist zu berücksichtigen, dass ein Teil des Lotes während der Durchführung des Lötsschrittes an einem Randbereich austreten kann. Dementsprechend sind diese Effekte zu berücksichtigen, wenn in dem gelöteten, hochtemperaturfesten Verbundkörper eine bestimmte Dicke einer Schicht gewünscht wird.

Weitere Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich anhand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren.

Von den Figuren zeigen:

- Fig. 1: eine schematische Darstellung einer Röntgendrehanode in Querschnittsansicht;
- Fig. 2: eine schematische Darstellung einer Zugprobe mit den zugehörigen Abmessungen;
- Fig. 3: ein Phasendiagramm des ternären Systems Ti-V-Mo;
- Fig. 4: ein Phasendiagramm des ternären Systems Ti-V-Ta;
- Fig. 5: eine schematische Darstellung in Querschnittsansicht zur Veranschaulichung des ersten Lötsschrittes einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und
- Fig. 6: eine schematische Darstellung in Querschnittsansicht zur Veranschaulichung des zweiten Lötsschrittes.

In Fig. 1 ist schematisch der Aufbau einer Ausführungsform einer Röntgendrehanode -2- dargestellt. Die Röntgendrehanode -2- ist rotationssymmetrisch zu einer Rotations-Symmetrieachse -4- ausgebildet. Die Röntgendrehanode -2- weist einen tellerförmigen Grundkörper -6- auf, der auf einer entsprechenden

Welle montierbar ist. Deckseitig ist auf dem Grundkörper -6- ein ringförmiger Brennbahnbelag -8- aufgebracht. Der Abschnitt, über den sich der ringförmige Brennbahnbelag -8- erstreckt, weist die Form eines Kegelstumpfes (eines flachen Kegels) auf. Der Brennbahnbelag -8- überdeckt zumindest den Bereich des Grundkörpers -6-, der im Einsatz mit einem Elektronenstrahl abgetastet wird. Rückseitig und gegenüberliegend von dem Brennbahnbelag -8- ist der Grundkörper -6- mit einem Abstrahlkörper -10- flächig verbunden. Der Grundkörper -6- ist mit dem Abstrahlkörper -10- über eine Lötverbundschicht -12- verbunden, so dass die Gesamtanordnung eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen, hochtemperaturfesten Verbundkörpers bildet. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der Grundkörper -6- aus umgeformten TZM gebildet und der Abstrahlkörper -10- ist aus Graphit gebildet. Dabei ist der Abstrahlkörper -10- über eine erste, aus einem Zr-Lot gebildete Lötverbindung mit einer Zwischenschicht aus reinem Ta (zu mindestens 98 at. % Ta) verbunden. Die Zwischenschicht ist über eine zweite, aus einer Ti-V-Lotkombination gebildeten Lötverbindung mit dem Grundkörper -6- verbunden.

Nachfolgend wird allgemein das zur Bestimmung der Wiederaufschmelztemperatur anwendbare Messverfahren erläutert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die mit diesem Messverfahren bestimmte Wiederaufschmelztemperatur typischerweise Schwankungen in einem Bereich von $\pm 20^{\circ}\text{C}$ aufweist. Zunächst wird aus dem gelöteten Verbundkörper eine Zugprobe -14-, deren Erstreckungsrichtung senkrecht zu der Ebene der zu untersuchenden Lötverbundschicht -16- verläuft und bei welcher die Lötverbundschicht -16- mittig angeordnet ist, herausgearbeitet. Die relevanten Abmessungen der Zugprobe -14- sind in Fig. 2 dargestellt, wobei die Abmessungen in Millimeter angegeben sind. Wesentliche Kenngrößen der Abmessungen sind insbesondere der Durchmesser -d- des kreisförmigen Querschnitts in dem zentralen Bereich der Zugprobe von 12 mm, der über eine Länge -l- von 22 mm konstant ist. Die Gesamtlänge -g- der Zugprobe -14- beträgt 50 mm, wobei die endseitigen Abschnitte -18-, -20- einen vergrößerten, kreisförmigen Querschnitt aufweisen. Zur Befestigung für die Durchführung des Zugversuches sind an den endseitigen Abschnitten -18-, -20- Außengewinde ausgebildet, die vorliegend durch ein metrisches M24-

Gewinde (d.h. 24 mm Außendurchmesser) mit einer Steigung von 1 gebildet werden.

Die Zugprobe wird in einen Warmzugofen eingebaut und eine konstante Vorkraft von 90 N (N: Newton) angelegt. Aufgrund der bei hohen Temperaturen auftretenden Diffusionseffekte, welche das Ergebnis der Messung der Wiederaufschmelztemperatur beeinflussen können, wird die Temperatur sehr schnell mit einer Heizrate von 50 °C/min (min: Minute) auf 50 °C unterhalb der erwarteten Wiederaufschmelztemperatur erhöht. Bei einer angenommenen Wiederaufschmelztemperatur von 1650 °C sollte die Zugprobe z.B. mit dieser hohen Heizrate bis zu einer Ofentemperatur von 1600 °C erwärmt werden. Nach einer Haltezeit von 10 min, die zur Durchwärmung der Zugprobe dient, wird die Temperatur nun mit einer signifikant geringeren Heizrate von 5 °C/min (min: Minute) weiter erhöht. Während dieser Erhöhung wird gemessen, wann ein Abfall der an der Zugprobe anliegenden Vorkraft auf null (0 N) bzw. im Wesentlichen auf null auftritt und die zu diesem Zeitpunkt gemessene Ofentemperatur wird als maßgeblicher Wert für die Wiederaufschmelztemperatur bestimmt. Wurde die Zugprobe bereits für 60 Minuten bei einer Ofentemperatur von über 1.000 °C gehalten und die Wiederaufschmelztemperatur wurde noch nicht erreicht, so wird das Experiment mit dieser Zugprobe abgebrochen, da andernfalls die Diffusionseffekte das Messergebnis zu stark beeinflussen würden. Es wird dann ein erneutes Experiment mit einer neuen Zugprobe gestartet, wobei dann mit der hohen Heizrate auf einen entsprechend höheren Temperaturwert hochgeheizt wird, um dann das Experiment in entsprechender Weise durchzuführen.

Da die Temperaturmessung im Hochvakuum bei Temperaturen über 1000 °C hohe Ungenauigkeiten aufweisen kann, ist es vorteilhaft, das Prüfsystem mit einer Zugprobe zu kalibrieren, die eine konstant messbare Schmelztemperatur aufweist. Es wird daher eine Zr-gelötete Zugprobe (mit den oberhalb angegebenen Abmessungen) mit nur einer, aus einem Zr-Lot gebildeten Lötverbindung, die zumindest zu einer Seite an einen Abschnitt aus Mo oder einer Mo-basierten Legierung angrenzt (die andere Seite der Zr-Lötverbindung grenzt an einen Abschnitt aus Graphit an), im Warmzugofen verbaut und gemäß dem oberhalb beschriebenen Messverfahren gemessen. Aufgrund der (sehr zuver-

lässig realisierbaren) Ausbildung eines Eutektikums von Zr mit Mo wird von einer Schmelztemperatur von 1.550 °C ausgegangen. Kann dieser Schmelzpunkt anhand der Messung bestätigt werden (d.h. der gemessene Schmelzpunkt liegt in einem Bereich von +/- 25°C um den erwarteten Schmelzpunkt von 1.550 °C), so ist die bestehende Temperaturmessung akzeptabel. Andernfalls ist eine entsprechende Anpassung der Temperaturmessung durchzuführen, bis dieser erwartete Schmelzpunkt verifiziert werden kann. Alternativ kann auch ein anderweitiges, gleichwertiges Kalibrierverfahren zur korrekten Temperaturbestimmung innerhalb des Warmzugofens verwendet werden.

10

Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf die Fig. 5 und 6 ein Ausführungsbeispiel zum Herstellen eines erfindungsgemäßen Verbundkörpers, der durch eine Röntgendrehanode -22- gebildet wird, erläutert. Bei dem Ausführungsbeispiel wird ein, aus TZM gebildeter Grundkörper -24- mit einem, aus Graphit gebildeten Abstrahlkörper -26- über eine Lötverbundschicht -28- flächig verbunden. Zunächst wird der Graphit-Abstrahlkörper -26- an der zu verbindenden Oberfläche durch mechanische Bearbeitung mit einer Strukturierung, insbesondere mit einer Rillenstruktur, versehen. Die Rillenstruktur weist eine Tiefe von ca. 350 µm auf. Anschließend wird eine Thermoschockreinigung und eine Hochvakuum-Glühung des Graphit-Abstrahlkörpers -26- vorgenommen. Ferner wird ein Zentrierungsadapter -30- aus Graphit bereitgestellt, der zur Zentrierung der Komponenten während des Lötens dient. Es werden eine 1 mm dicke Ta-Lotfolie (zu mindestens 98 at.% aus Ta) und eine 0,2 mm dicke Zr-Lotfolie (zu mindestens 95 at.% aus Zr) mittels Laserschneiden zugeschnitten und einer Ultraschallreinigung unterzogen. Anschließend werden zur Herstellung der ersten Anordnung der Graphit-Abstrahlkörper -26-, die Zr-Lotfolie -32-, und die Ta-Lotfolie -34- in dieser Abfolge aufeinander geschichtet (vgl. Fig. 5), wobei der Zentrierungsadapter -30- zur Zentrierung der Schichten dient. Die erste Anordnung wird in einem Hochvakuumofen einem ersten Lötschritt unterzogen. Hierbei wird die erste Anordnung zunächst auf 1.600 °C mit einer durchschnittlichen Heizrate im Bereich von 10 °C/min bis 20°C/min (min: Minute), insbesondere bei einer Heizrate von 15 °C/min, unter Hochvakuum erwärmt. Bei 1.600 °C wird eine Haltezeit im Bereich von 10 bis 20 Minuten (insbesondere 15 Minuten) eingelegt, um eine Durchwärmung der Komponenten zu gewährleisten. An-

30

- schließlich wird die Temperatur mit einer Heizrate im Bereich von 10 °C/min bis 20 °C/min (min: Minute), insbesondere bei einer Heizrate von 15°C/min, bis auf eine maximale Temperatur von 1.915 °C erhöht. Nach Erreichen der Temperatur von 1.915 °C wird erneut eine Haltezeit (bei dieser Temperatur) im Bereich
- 5 von 5 bis 10 Minuten (insbesondere 8 Minuten) eingelegt. Danach wird die erste Anordnung langsam innerhalb des Ofens im Hochvakuum auf Raumtemperatur abgekühlt. Der dadurch erhaltene Teil-Verbundkörper -38- wird einer zerstörungsfreien Prüfung (Ultraschallprüfung) unterzogen.
- 10 Der Grundkörper -24-, auf dem bei der dargestellten Ausführungsform deckseitig ein Brennbahnbelag -36- vorgesehen ist, wird mechanisch bearbeitet und anschließend einer Ultraschallreinigung unterzogen. Bei der vorliegenden Ausführungsform wird auch die Ta-Zwischenschicht des Teil-Verbundkörpers -38-
- 15 zur Einstellung einer gewünschten Stärke der Ta-Zwischenschicht mechanisch bearbeitet. Anschließend wird auch der Teil-Verbundkörper 38 einer Ultraschallreinigung unterzogen. Im Rahmen der Vorbereitung des zweiten Lötsschrittes wird ein neuer Zentrierungsadapter 30 gefertigt (sofern erforderlich). Zur Bereitstellung einer Ti-V-Lotkombination werden eine 0,1 mm dicke V-Lotfolie (zu mindestens 98 at.% aus V) und eine 0,25 mm dicke Ti-Lotfolie (zu mindestens
- 20 98 at.% aus Ti) mittels Laserschneiden zugeschnitten und anschließend einer Ultraschallreinigung unterzogen. Anschließend werden zur Herstellung der zweiten Anordnung der Teil-Verbundkörper -38-, die Ti-Lotfolie -40-, die V-Lotfolie -42- und der Grundkörper -24- in dieser Abfolge aufeinander geschichtet (vgl. Fig. 6), wobei der Zentrierungsadapter -30- zur Zentrierung der Schichten dient. Die zweite Anordnung wird in einem Hochvakuumofen im Hochvakuum einem zweiten Lötsschritt unterzogen. Hierbei wird die zweite Anordnung
- 25 zunächst auf 1.500 °C mit einer durchschnittlichen Heizrate im Bereich von 20 °C/min bis 40°C/min (min: Minute), insbesondere bei einer Heizrate von 30 °C/min, erwärmt. Bei 1.500 °C wird eine Haltezeit im Bereich von 10 bis 20 Minuten (insbesondere 15 Minuten) eingelegt, um eine Durchwärmung der Komponenten zu gewährleisten. Anschließend wird die Temperatur mit einer Heizrate im Bereich von 10°C/min bis 30 °C/min (min: Minute), insbesondere bei einer Heizrate von 20°C/min, bis auf eine maximale Temperatur von 1.650 °C erhöht. Nach Erreichen der Temperatur von 1.650 °C wird erneut eine Haltezeit (bei
- 30

dieser Temperatur) im Bereich von 5 bis 10 Minuten (insbesondere 8 Minuten) eingelegt. Danach wird der erhaltene Verbundkörper langsam innerhalb des Hochvakuumofens im Hochvakuum auf Raumtemperatur abgekühlt. Der erhaltene Verbundkörper wird einer zerstörungsfreien Prüfung (Ultraschallprüfung) unterzogen.

Das beschriebene Herstellungsverfahren ist entsprechend durchführbar, wenn an Stelle der Ta-Zwischenschicht eine anderweitige, der oberhalb beschriebenen Zwischenschichten eingesetzt wird. Ferner sind für das zweite Lot auch andere der oberhalb allgemein beschriebenen Materialien verwendbar, wobei je nach eingesetztem Material der zu erwartende Schmelzpunkt innerhalb der zweiten Anordnung abzuschätzen ist und dementsprechend die maximale Temperatur während des zweiten Lötsschrittes anzupassen ist.

Besonders bevorzugte Materialien für das zweite Lot sind insbesondere ein Ti-Lot, eine Ti-V-Lotkombination, ein Zr-Lot, sowie eine Zr-Ti-Lotkombination. Bei diesen Materialien wird, wie unterhalb im Detail erläutert wird, ein besonders niedriger Schmelzpunkt erzielt, wobei dies bei den genannten Lotkombinationen zumindest innerhalb bestimmter Zusammensetzungsbereiche gilt. Dadurch kann eine thermische Alterung des zweiten, metallischen Abschnittes weitgehend vermieden werden.

Die eine Gruppe von bevorzugten Materialien bilden ein Ti-Lot mit einem Schmelzpunkt von 1.670 °C und eine Ti-V-Lotkombination mit einem Schmelzpunktsminimum von 1.600 °C bei einer Zusammensetzung von 31 at.% V und 69 at.% Ti. Vergleichsweise niedrige Schmelzpunkte der Ti-V-Lotkombination werden jedoch über einen vergleichsweise breiten Zusammensetzungsbereich von 20 – 40 at.% V erzielt. Dieser Zusammenhang ist auch den beiden, in den Figuren 3 und 4 dargestellten Phasendiagramme der ternären Systeme Ti-V-Mo (Fig. 3) und Ti-V-Ta (Fig. 4) entnehmbar. Weiterhin ist anhand der Phasendiagramme der Fig. 3 und 4 auch ersichtlich, dass mit zunehmender Diffusion von Mo und/oder Ta in das betreffende Lot (Ti-Lot bzw. Ti-V-Lotkombination) eine entsprechend zunehmende Erhöhung des Schmelzpunktes des zweiten Lotes erfolgt (entsprechend auch bei einer Nb-Zwischenschicht). Dementsprechend

ermöglichen ein Ti-Lot und eine Ti-V-Lotkombination, dass der zweite Lötsschritt bei einer vergleichsweise niedrigen Ofentemperatur durchgeführt wird. Insbesondere sind für den zweiten Lötsschritt maximale Ofentemperaturen im Bereich von 1.600 °C bis 1.720 °C geeignet, je nachdem, wie hoch der Temperatur-

5 Sicherheitsabstand zum Schmelzpunkt gewählt wird (typischerweise 50°C über den, zu erwartenden Schmelzpunkt), um ein Schmelzen des Lotes sicherzustellen. Ferner ermöglichen diese Lote aufgrund der beschriebenen Diffusionseffekte, dass die daraus erhaltene Lötverbindung vergleichsweise hohen Einsatz-

10 temperaturen standhält.

Die andere Gruppe von bevorzugten Materialien bilden ein Zr-Lot sowie eine Zr-Ti-Lotkombination. Aufgrund der oberhalb beschriebenen Diffusionseffekte bildet sich dann, wenn diese Lote direkt angrenzend an einen zweiten Abschnitt aus Mo oder einer Mo-Legierung angeordnet sind, zuverlässig ein Eutektikum

15 zwischen Zr und Mo mit einem Schmelzpunkt von 1.550 °C aus. Wird eine Zr-Ti-Lotkombination verwendet, so kann im Bereich des Schmelzpunktsminimums von ca. 1.554 °C dieser Lotkombination gearbeitet werden. Insbesondere sind für den zweiten Lötsschritt maximale Ofentemperaturen im Bereich von 1.550 °C bis 1.630 °C geeignet, je nachdem, wie hoch der Temperatur-

20 Sicherheitsabstand zum Schmelzpunkt gewählt wird (typischerweise 50°C über den, zu erwartenden Schmelzpunkt), um ein Schmelzen des Lotes sicherzustellen. Dementsprechend sind bei diesen Loten besonders niedrige Löttemperaturen für den zweiten Lötsschritt möglich. Je nach Materialien kann die Temperaturbelastbarkeit zum Teil etwas niedriger als bei dem oberhalb beschriebenen

25 Ti-Lot und der Ti-V-Lotkombination sein.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass im Falle einer aus zwei Lotfolien gebildeten Ti-V-Lotkombination für das zweite Lot bevorzugt ist, wenn die Ti-Lotfolie angrenzend an die Zwischenschicht ausgebildet ist.

30

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines hochtemperaturfesten Verbundkörpers (2; 22) durch flächiges Verbinden eines ersten, nicht-metallischen Abschnittes (10; 26) über eine Lötverbundschicht (12; 28) mit einem zweiten, metallischen Abschnitt (6; 24) aus Mo, einer Mo-basierten Legierung, W oder einer W-basierten Legierung, gekennzeichnet durch nachfolgende Schritte:
- 5 A) Herstellen einer ersten Anordnung aus dem ersten Abschnitt (10; 26), einem ersten Zr-Lot (32) und einer Zwischenschicht (34) in dieser Abfolge,
- 10 wobei die Zwischenschicht (34) zu mindestens 90 at.% aus mindestens einem der Elemente Ta, Nb und/oder W gebildet ist,
- B) Erwärmen der ersten Anordnung in einem ersten Lötschritt derart, dass das Zr-Lot (32), nicht aber die Zwischenschicht (34) schmilzt und ein Teil-Verbundkörper (38) erhalten wird,
- 15 C) Herstellen einer zweiten Anordnung aus dem Teil-Verbundkörper (38), einem, an die Zwischenschicht (34) angrenzenden zweiten Lot (40, 42) und dem zweiten Abschnitt (6; 24) in dieser Abfolge,
- 20 wobei das zweite Lot (40, 42) durch genau ein Material der Gruppe Ti, Ti-basierte Lotkombination, V-basierte Lotkombination, Zr oder Zr-basierte Lotkombination gebildet wird und derart gewählt ist, dass dieses in der zweiten Anordnung bei einer niedrigeren Temperatur als das erste Zr-Lot (32) schmilzt, und
- 25 D) Erwärmen der zweiten Anordnung in einem zweiten Lötschritt derart, dass das zweite Lot (40, 42), nicht aber die aus dem ersten Zr-Lot (32) erhaltene Lötverbindung schmilzt.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die bei dem zweiten Lötschritt maximal erreichte Ofentemperatur um mindestens 100 °C niedriger als die bei dem ersten Lötschritt maximal erreichte Ofentemperatur ist.
- 30 3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem ersten Lötschritt eine maximale Ofentemperatur im Bereich von ein-

schließlich 1.800 °C bis einschließlich 2.000 °C eingestellt wird und dass bei dem zweiten Lötsschritt eine maximale Ofentemperatur im Bereich von einschließlich 1.550 °C bis einschließlich 1.720 °C eingestellt wird.

- 5 4. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Material des zweiten Lotes derart gewählt wird, dass es in der zweiten Anordnung einen Schmelzpunkt im Bereich von einschließlich 1.550 °C bis einschließlich 1.680 °C aufweist.
- 10 5. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lot (40, 42) durch genau eines der nachfolgenden Lote gebildet wird:
- 15 - ein Ti-Lot,
 - eine Ti-V-Lotkombination (40, 42),
 - ein Zr-Lot, oder
 - eine Zr-Ti-Lotkombination.
- 20 6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Lot durch eine Ti-V-Lotkombination (40, 42) mit einem Anteil von einschließlich 12 at.% bis einschließlich 50 at.% V und dem verbleibenden Anteil Ti gebildet wird.
- 25 7. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche der Zwischenschicht (34) des Teilverbundkörpers (38) vor dem Herstellen der zweiten Anordnung mechanisch bearbeitet wird.
- 30 8. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Dicke der Zwischenschicht (34) im Bereich von einschließlich 0,1 mm bis einschließlich 2 mm ist.
9. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Dicke des ersten Lotes (32) im Bereich von einschließlich 80 µm bis einschließlich 500 µm liegt und dass die mittlere

Dicke des zweiten Lotes (40, 42) im Bereich von einschließlich 30 µm bis einschließlich 400 µm liegt.

- 5 10. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Abschnitt (10; 26) aus einem C-basierten Material gebildet ist und dass der zweite Abschnitt (6; 24) aus Mo oder aus einer Mo-basierten Legierung gebildet ist.
- 10 11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Abschnitt aus einer Keramik gebildet ist.
- 15 12. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl der erste Abschnitt (10; 26) als auch der zweite Abschnitt (6; 24) jeweils Abschnitte von Bauteilen einer Röntgenanode (2; 22) bilden.
- 20 13. Hochtemperaturfester Verbundkörper, bei welchem ein erster, nicht-metallischer Abschnitt (10; 26) über eine Lötverbundschicht (12; 28) mit einem zweiten, metallischen Abschnitt (6; 24) aus Mo, einer Mo-basierten Legierung, W oder einer W-basierten Legierung verbunden ist, wobei der erste Abschnitt (10; 26) über eine erste, aus einem Zr-Lot (32) gebildete Lötverbindung mit einer Zwischenschicht (34), die zumindest in einem Kernbereich zu mindestens 90 at.% aus mindestens einem der Elemente Ta, Nb und/oder W gebildet ist, verbunden ist,
- 25 und wobei die Zwischenschicht (34) über eine zweite Lötverbindung (40, 42), die aus einem Ti-Lot, aus einer Ti-V-Lotkombination, aus einem Zr-Lot oder aus einer Zr-Ti-Lotkombination gebildet ist, mit dem zweiten Abschnitt (6; 24) verbunden ist.
- 30 14. Hochtemperaturfester Verbundkörper gemäß dem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Lötverbindung (40; 42) aus einem Ti-Lot mit einer Wiederaufschmelztemperatur von maximal 1.860°C gebildet ist.

15. Hochtemperaturfester Verbundkörper gemäß Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Lötverbindung aus einer Ti-V-Lotkombination (40; 42) mit einer Wiederaufschmelztemperatur von maximal 1.780 °C gebildet ist.

1/3

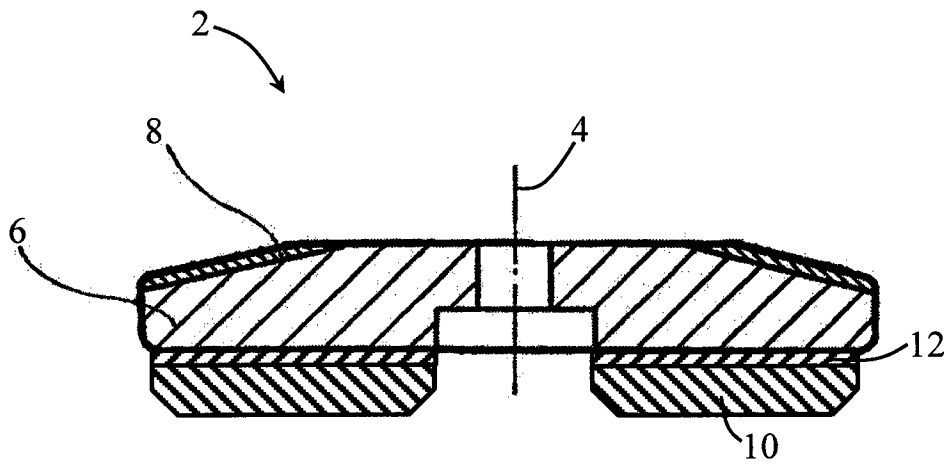


Fig. 1

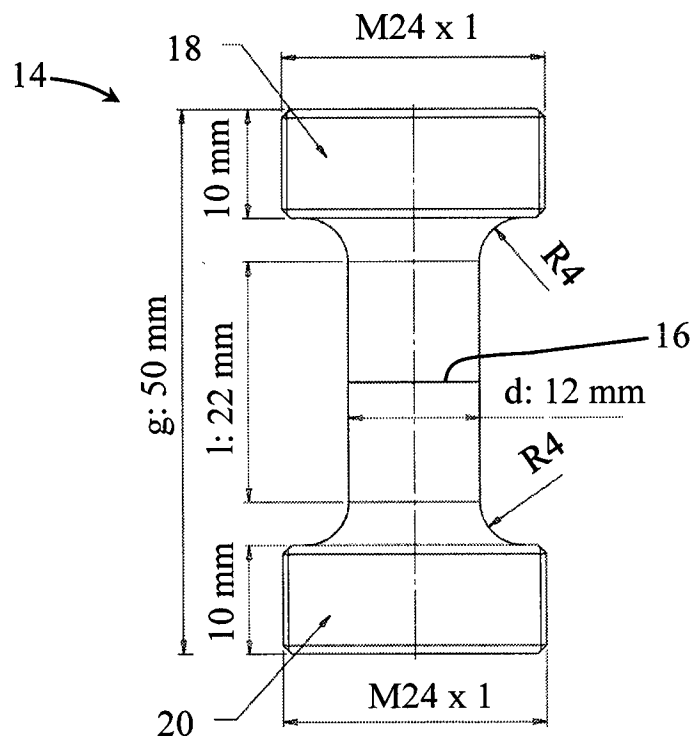


Fig. 2

2/3

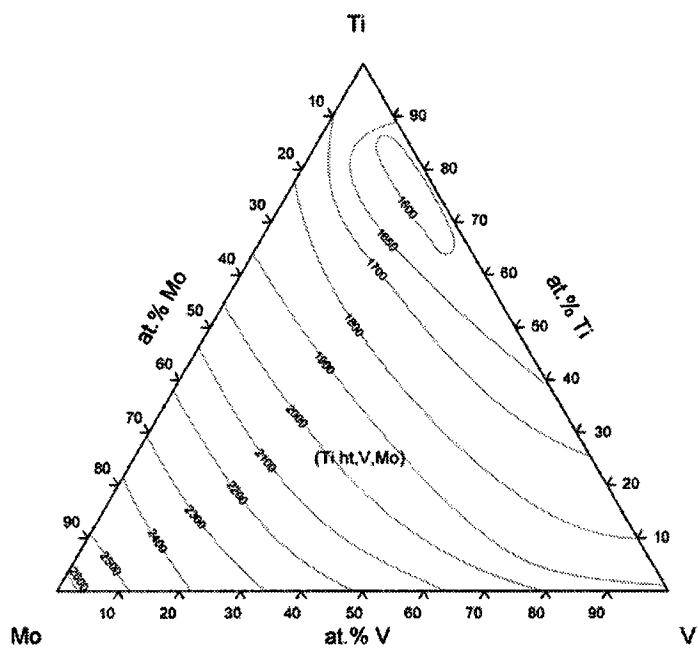


Fig. 3

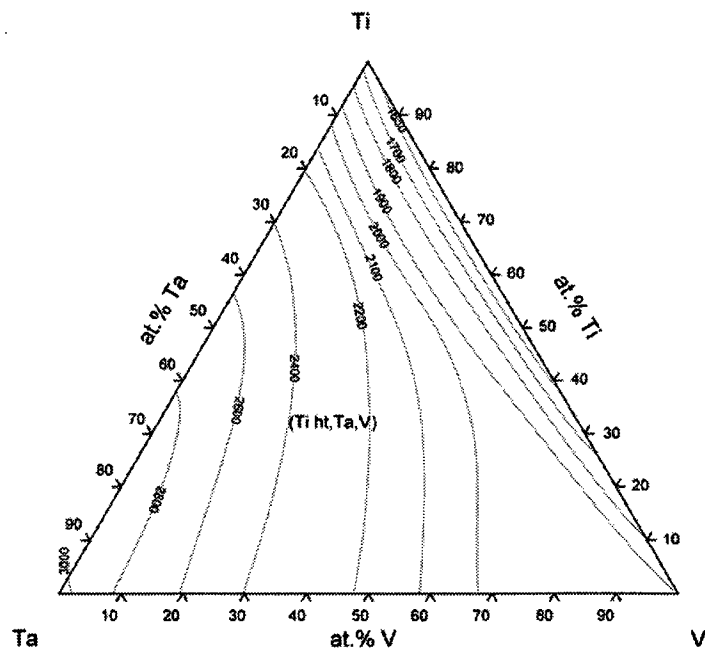


Fig. 4

3/3

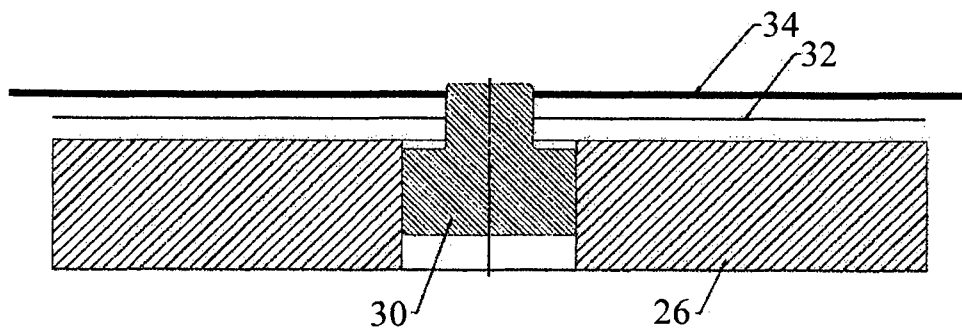


Fig. 5

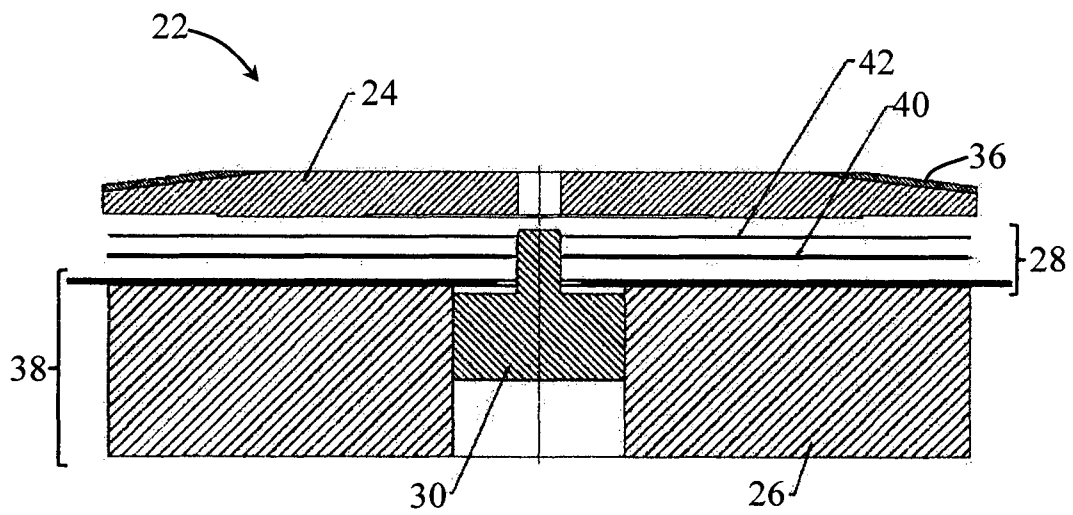


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2012/000296

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV.	B23K1/00 H01J35/10	B23K1/19 B23K35/32 B23K35/00 C04B37/02
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) B23K C04B H01J		
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		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/085678 A1 (WARREN JOHN M [US]) 4 July 2002 (2002-07-04) cited in the application paragraphs [0001], [0008] - [0010], [0016], [0020] - [0026], [0028] - [0032] -----	1-15
A	EP 0 464 916 A2 (PLANSEE METALLWERK [AT] PLANSEE AG [AT]) 8 January 1992 (1992-01-08) column 1, lines 1-6 column 2, line 26 - column 4, line 32 -----	1-15
A	AT 6 994 U1 (PLANSEE AG [AT]) 26 July 2004 (2004-07-26) page 2, lines 1-5 page 3, line 21 - page 4, line 10 page 7, line 16 - page 20, line 5 page 21, line 19 - page 22, line 17 ----- -/-	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 15 April 2013		Date of mailing of the international search report 22/04/2013
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 Stocker, Christian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/AT2012/000296

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010 140879 A (TOSHIBA CORP; TOSHIBA MATERIALS CO LTD) 24 June 2010 (2010-06-24) cited in the application abstract figures 1-6	1-15
A	----- US 2011/103553 A1 (NITTA AKIHISA [JP] ET AL) 5 May 2011 (2011-05-05) cited in the application the whole document -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2012/000296

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002085678	A1	04-07-2002	AT 413161 B 15-11-2005
		US 6400800 B1	04-06-2002
		US 2002085678 A1	04-07-2002

EP 0464916	A2	08-01-1992	AT 393651 B 25-11-1991
		DE 59107231 D1	22-02-1996
		EP 0464916 A2	08-01-1992
		JP 3040203 B2	15-05-2000
		JP H04228480 A	18-08-1992
		US 5102747 A	07-04-1992

AT 6994	U1	26-07-2004	AT 6994 U1 26-07-2004
		AT 388481 T	15-03-2008
		EP 1678733 A1	12-07-2006
		JP 4558736 B2	06-10-2010
		JP 2007512959 A	24-05-2007
		US 2007119907 A1	31-05-2007
		WO 2005034168 A1	14-04-2005

JP 2010140879	A	24-06-2010	NONE

US 2011103553	A1	05-05-2011	EP 2312608 A1 20-04-2011
		US 2011103553 A1	05-05-2011
		WO 2010005001 A1	14-01-2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	B23K1/00 H01J35/10	B23K1/19 B23K35/32 B23K35/00 C04B37/02
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B23K C04B H01J		
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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2002/085678 A1 (WARREN JOHN M [US]) 4. Juli 2002 (2002-07-04) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0001], [0008] - [0010], [0016], [0020] - [0026], [0028] - [0032] -----	1-15
A	EP 0 464 916 A2 (PLANSEE METALLWERK [AT] PLANSEE AG [AT]) 8. Januar 1992 (1992-01-08) Spalte 1, Zeilen 1-6 Spalte 2, Zeile 26 - Spalte 4, Zeile 32 -----	1-15
A	AT 6 994 U1 (PLANSEE AG [AT]) 26. Juli 2004 (2004-07-26) Seite 2, Zeilen 1-5 Seite 3, Zeile 21 - Seite 4, Zeile 10 Seite 7, Zeile 16 - Seite 20, Zeile 5 Seite 21, Zeile 19 - Seite 22, Zeile 17 ----- -/-	1-15
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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 15. April 2013		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 22/04/2013
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 Stocker, Christian

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP 2010 140879 A (TOSHIBA CORP; TOSHIBA MATERIALS CO LTD) 24. Juni 2010 (2010-06-24) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Abbildungen 1-6 -----	1-15
A	US 2011/103553 A1 (NITTA AKIHISA [JP] ET AL) 5. Mai 2011 (2011-05-05) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2012/000296

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2002085678 A1	04-07-2002	AT 413161 B	15-11-2005
		US 6400800 B1	04-06-2002
		US 2002085678 A1	04-07-2002

EP 0464916 A2	08-01-1992	AT 393651 B	25-11-1991
		DE 59107231 D1	22-02-1996
		EP 0464916 A2	08-01-1992
		JP 3040203 B2	15-05-2000
		JP H04228480 A	18-08-1992
		US 5102747 A	07-04-1992

AT 6994 U1	26-07-2004	AT 6994 U1	26-07-2004
		AT 388481 T	15-03-2008
		EP 1678733 A1	12-07-2006
		JP 4558736 B2	06-10-2010
		JP 2007512959 A	24-05-2007
		US 2007119907 A1	31-05-2007
		WO 2005034168 A1	14-04-2005

JP 2010140879 A	24-06-2010	KEINE	

US 2011103553 A1	05-05-2011	EP 2312608 A1	20-04-2011
		US 2011103553 A1	05-05-2011
		WO 2010005001 A1	14-01-2010
