

(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
26. Februar 2015 (26.02.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/025218 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H05G 2/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/IB2014/002055

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. August 2014 (21.08.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 109 048.6
21. August 2013 (21.08.2013) DE

(71) Anmelder: **USHIO DENKI KABUSHIKI KAISHA**
[JP/JP]; 2-6-1, Ote-machi, Chiyoda-ku, Tokyo-to, 100-
8150 (JP).

(72) Erfinder: **WEVERS, Rutger**; Beeckstrasse 27, 52062
Aachen (DE). **BECKERS, Job**; Halvemaanstraat 90, NL-
5651BR Eindhoven (NL). **JONKERS, Jeroen**;

Hirschgraben 30, 52062 Aachen (DE). **CONRADs, Ralf,**
Gordon; Blumenweg 21, 47906 Kempen (DE).

(74) Anwalt: **ITOH, FUJITA & PARTNERS**; FUJITA,
Akira, KD Building, 25-5, Yotsuya 4-chome, Shinjuku-ku,
Tokyo 160-0004 (JP).

(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, 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,
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, 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.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR COOLING RADIATION SOURCES BASED ON A PLASMA

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KÜHLUNG VON STRAHLUNGSQUELLEN AUF BASIS
EINES PLASMAS

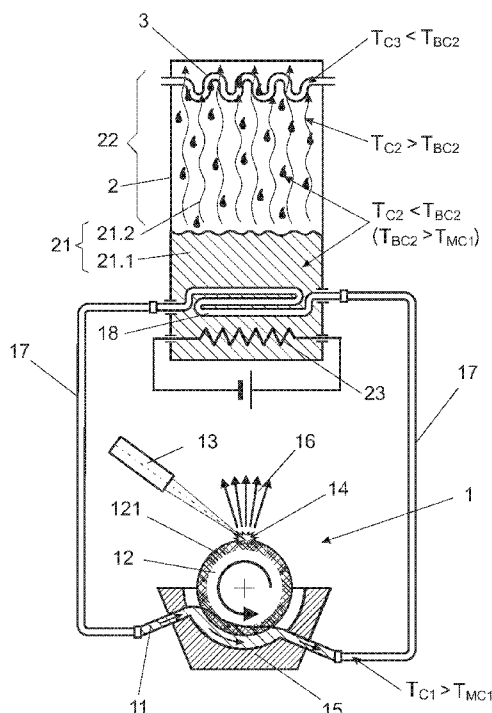


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method and to devices for cooling radiation sources based on a plasma. The problem addressed by the invention is that of implementing of robust and effective cooling of plasma-based radiation sources without cumbersome temperature regulation and without danger of solidification of a metallic cooling agent, even in the case of strongly fluctuating thermal input. This problem is solved in that the circulating component (12) is cooled as a first cooling agent (11) during movement thereof via partial immersion in a molten metal, a secondary cooling occurs via thermal contact of the first cooling agent (11) to a second cooling agent (21) in a closed vessel (2), wherein a hermetically separated vessel part (15; 18) of the first cooling agent (11) vaporizes the second cooling agent (21), which has a boiling temperature (T_{BC2}) above the boiling temperature (T_{MC1}) of the first cooling agent (11), and transfers the second cooling agent (21) to a steam chamber (22) of the closed vessel (2), the liquid phase (21.1) of the second cooling agent (21) is temperature-controlled to a temperature above the melting temperature (T_{MC1}) of the first cooling agent (11) and a tertiary cooling occurs via a condenser (3) in the steam chamber (22) of the closed vessel (2) of the second cooling agent (21).

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtungen zur Kühlung von Strahlungsquellen auf Basis eines Plasmas. Die Aufgabe der Erfindung, eine robuste und effektive Kühlung von plasmabasierten Strahlungsquellen auch bei stark wechselndem Wärmeeintrag ohne aufwändige Temperaturregelung und ohne Gefahr des Erstarrens eines metallischen Kühlmittels zu realisieren, wird erfindungsgemäß gelöst, indem die umlaufende Komponente (12) bei deren Bewegung durch partielles Eintauchen in ein erschmolzenes Metall als erstes Kühlmittel (11) gekühlt wird, eine sekundäre Kühlung durch thermischen Kontakt des ersten Kühlmittels (11) mit einem zweiten Kühlmittel (21) in einem geschlossenen Gefäß (2) erfolgt, wobei ein hermetisch separierter Gefäßteil (15; 18) des ersten Kühlmittels (11) das zweite Kühlmittel (21), das eine Siedetemperatur (T_{BC2}) oberhalb der Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) aufweist, verdampft und in einen Dampfraum (22) des geschlossenen Gefäßes (2) überführt, die flüssige Phase (21.1) des zweiten Kühlmittels (21) auf eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) temperiert wird, und eine tertiäre Kühlung durch einen Kondensator (3) im Dampfraum (22) des geschlossenen Gefäßes (2) des zweiten Kühlmittels (21) erfolgt.

Verfahren und Vorrichtung zur Kühlung von Strahlungsquellen auf Basis eines Plasmas

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kühlung einer Strahlungsquelle auf Basis eines Plasmas, wobei eine an der Plasmaerzeugung beteiligte zu kühlende umlaufende Komponente durch umlaufende Bewegung beschichtet und sukzessive fortschreitend an einer anderen Stelle zur Plasmaerzeugung benutzt wird. Sie findet insbesondere bei Strahlungsquellen im extrem ultravioletten Spektralbereich Anwendung.

10 Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass Wärme hocheffektiv mittels so genannter Wärmerohre (engl.: heat pipes) abgeführt werden kann, wobei ein Wärmerohr (auch im Deutschen häufig „Heat-Pipe“ genannt) eine Wärmeübertragungsrate aufweist, die bis zu 1000fach höher als die von Kupfer ist.

Ein solches Wärmerohr ist in der US 2004/0004422 A1 zur Kühlung einer Excimerquelle beschrieben und besteht aus einer vakuumdichten Hülle, in der eine dochtähnliche Struktur sowie eine Arbeitsflüssigkeit vorhanden sind. Nach dem Evakuieren des Wärmerohres wird genau soviel Arbeitsflüssigkeit eingefüllt, um die Dochtstruktur zu sättigen und die Atmosphäre im Wärmerohr auf ein Gleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Dampf einzustellen. Wirkt Wärme an der Verdampferseite auf das Wärmerohr ein, wird das Flüssigkeits-Dampf-Gleichgewicht gestört, ein erhöhter Dampfdruck sorgt dafür, dass sich der Dampf zur etwas kälteren Kondensatorseite des Wärmerohres bewegt und dort kondensiert, indem er seine latente Verdampfungswärme abgibt. Die kondensierte Flüssigkeit wird dann durch Kapillarkräfte zur Verdampferseite zurückgepumpt.

25 Für die Kühlung der Excimerquelle ist gemäß US 2004/0004422 A1 das Verdampferende des Wärmerohres entweder direkt mit einer der Quellenelektroden verbunden, während die Kondensatorseite innerhalb der Quelle an einen beispielsweise luftgekühlten Kühlungspunkt der Excimerquelle geführt ist, oder der Verdampfer ist außen an der Excimerquelle angebracht, während die Kondensatorseite beliebig gekühlt werden kann.

Eine weitere sehr effektive Methode ist als so genannte Sprühkühlung (engl. spray cooling) zur Kühlung von elektronischen Baugruppen und Schaltungen in einem Artikel

von Jungho Kim: Spray cooling heat transfer: The state of the art (in: Int. J. Heat and Fluid Flow 28 (2007), 753-767) beschrieben. Dabei wird über spezielle kleine Düsen eine Kühlflüssigkeit auf eine zu kühlende heiße Fläche gesprüht und durch Verdampfung der Tröpfchen der Kühlflüssigkeit werden große Energiebeträge in Form von latenter Verdampfungswärme von der heißen Fläche abgeführt.

Nachteilig bei beiden vorgenannten Kühlmethoden ist jedoch, dass diese bei schwankendem Wärmeeintrag, wie er bei einer gepulst und/oder zyklisch (z. B. in einem Burst-Regime) betriebenen Strahlungsquelle auftritt, nicht ungeregelt stabil und effektiv arbeiten. Letzteres ist bei plasmabasierten Strahlungsquellen, insbesondere gasentladungsbasierten (DPP-) Strahlungsquellen, wie beispielsweise EUV-Strahlungsquellen, bei denen rotierende Elektroden mit flüssigem Metall (z. B. Zinn) beschichtet werden, um die Elektroden bei gepulster Auslösung großer Entladungsströme vor Erosion zu schützen und zugleich für eine Elektrodenkühlung zu sorgen, ganz besonders nachteilig. Das Problem liegt dabei im systemgefährdenden Erstarren des Metalls, das bei einer herkömmlichen Temperaturregelung deshalb nicht sicher ausgeschlossen werden kann, da ein schwankender Wärmeeintrag die herkömmliche Kühlung auf eine Effektivwertregelung reduziert, die bei einer Entladungsunterbrechung (Belichtungspause der Strahlungsquelle) nicht schnell genug gedrosselt werden kann.

Dem vorstehend umrissenen Problem wird in der gattungsgemäßen Offenlegungsschrift DE 103 42 239 A1 nur oberflächliche Bedeutung beigemessen. Die darin mit einer zwischen rotierenden Elektroden erzeugten elektrischen Entladung beschriebene Vorrichtung zur Erzeugung von EUV- bzw. weicher Röntgenstrahlung offenbart eine Heiz- oder Kühleinrichtung mit einem Wärmetauscher, um die Temperatur eines metallischen Kühlmittels (Zinn) in einem pumpenbetriebenen Kühlkreislauf auf einer Betriebstemperatur oberhalb der Schmelztemperatur zu halten.

In einer für Gasentladungsquellen beschriebenen Anordnung mit rotierenden Elektroden, die aus der US 2011/0133621 A1 bekannt ist, wird ebenfalls nur ein nicht näher spezifizierter externer Wärmetauscher offenbart, durch den das metallische Kühlmittel aktiv in einem Kreislauf hindurchgepumpt wird, ohne dass spezielle Maßnahmen zur

Berücksichtigung von stark wechselnden Wärmeeinträge an den Entladungselektroden erwähnt sind.

Ferner ist in der US 8 416 391 B2 eine Strahlungsquelle mit rotierenden Elektroden beschrieben, für deren Kühlung ein dem Fachmann geläufiges Temperierungssystem erwähnt wird, das – ohne nähere Erklärung von Besonderheiten – als Kälteerzeuger- oder Kreislaufsystem mit Kühlmedien bezeichnet wird.

Nachteilig an den drei vorgenannten Lösungen sind deren unspezifiziert erwähnte Kühlsysteme für die metallische Kühlung der Entladungselektroden, ohne dass die je nach Betriebsregime der Elektroden stark wechselnden Energieeinträge in das metallische Kühlmittel irgendeine Berücksichtigung finden.

Kühlsysteme aus anderen technischen Gebieten, wie sie z.B. aus DE 198 26 733 A1 oder DE 699 24 505 T2 bekannt sind, kommen allein aus Gründen der wesentlich niedriger konzipierten Energieeinträge und Betriebstemperaturen und der verwendeten Regelung nicht in Betracht.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neue Möglichkeit zur Verbesserung der Robustheit der Kühlung von Strahlungsquellen auf Basis eines Plasmas zu finden, bei der eine aufwändige prozessgesteuerte Temperaturregelung vermieden wird, ohne dass bei stark wechselndem Wärmeeintrag zu irgendeinem Zeitpunkt die Gefahr eines unerwünschten Systemausfalls der Kühlung (z. B. durch Erstarren eines metallischen Kühlmittels) besteht.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Verfahren zur Kühlung von Strahlungsquellen auf Basis eines Plasmas, bei dem eine an der Plasmaerzeugung beteiligte zu kühlende umlaufende Komponente durch umlaufende Bewegung beschichtet und sukzessive fortschreitend an einer anderen Stelle zur Plasmaerzeugung benutzt wird, gelöst durch die Schrittfolge:

- primäres Kühlen der umlaufenden Komponente durch deren umlaufende Bewegung und partielles Eintauchen in ein erstes Kühlmittel, das in Form eines Schmelzbades eines Metalls ausgebildet ist;

- sekundäres Kühlen der umlaufenden Komponente durch thermischen Kontakt des ersten Kühlmittels mit einem zweiten oder weiteren Kühlmittel über wenigstens einen hermetisch separierten Gefäßteil in einem geschlossenen Gefäß, wobei
 - * das Gefäß lediglich zu einem Teil, in dem der separierte Gefäßteil des ersten Kühlmittels angeordnet ist, mit einer flüssigen Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels gefüllt und oberhalb der flüssigen Phase ein Dampfraum aus einer gasförmigen Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels gebildet wird, und;
 - * als zweites oder weiteres Kühlmittel eine Kühlflüssigkeit verwendet wird, deren Siedepunkt oberhalb der Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels einstellbar ist,
- Temperieren der flüssigen Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels, die den separierten Gefäßteil des ersten Kühlmittels mindestens teilweise umgibt, auf eine Temperatur, die oberhalb der Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels liegt; sodass das erste Kühlmittel durch thermischen Kontakt zum Kühlmittel in einem definierten Temperaturintervall oberhalb seiner Schmelztemperatur gehalten wird, und
- tertiäres Kühlen der umlaufenden Komponente durch einen Kondensator, der im Dampfraum des Gefäßes in thermischem Kontakt mit der gasförmigen Phase des zweiten Kühlmittels steht, wobei eine die Siedetemperatur des zweiten Kühlmittels unterschreitende Temperatur des Kondensators eingestellt wird.

In einer ersten vorteilhaften Anwendung des Verfahrens ist die zu kühlende umlaufende Komponente der Strahlungsquelle als rotierende Scheibe zum Bereitstellen einer Schicht eines in ein Plasma zu konvertierenden Emittermaterials ausgebildet und wird mit einem Teil ihres peripheren Randbereichs durch ein Schmelzbad des Emittermaterials hindurchbewegt, wobei das Emittermaterial zugleich als erstes Kühlmittel verwendet wird.

In einer zweiten vorteilhaften Anwendung des Verfahrens ist die zu kühlende umlaufende Komponente als umlaufende Elektrode ausgebildet und wird mit einem Teil ihres umlaufenden Materials durch ein Schmelzbad aus dem ersten Kühlmittel hindurchbewegt, wobei für umlaufende Elektroden mit unterschiedlichem Potential separate Schmelzbäder verwendet werden. Dabei kann das erste Kühlmittel auch

zugleich als in Plasma zu konvertierendes Emittiermaterial der Strahlungsquelle verwendet werden.

Vorteilhaft wird als zweites Kühlmittel eine Kühlflüssigkeit ausgewählt, deren Siedetemperatur unter Betriebsbedingungen im Gefäß die Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels um einen Betrag zwischen 1 K und 250 K übersteigt.

Vorzugsweise wird als Kühlflüssigkeit GALDEN® mit einer Siedetemperatur bei Normaldruck von 1 K oder mehr über der Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels verwendet und im Gefäß unter Normaldruck gehalten.

Es ist aber auch möglich, als Kühlflüssigkeit GALDEN® mit einer Siedetemperatur bei Normaldruck von wenigen Kelvin unter der Schmelztemperatur zu verwenden und im Gefäß unter erhöhtem Druck auf eine Siedetemperatur von 1 K oder mehr über der Schmelztemperatur einzustellen.

Als Kühlflüssigkeit kann des Weiteren DOWTHERM® A mit einer Siedetemperatur bei Normaldruck von 257,1 °C verwendet und im Gefäß unter Normaldruck gehalten werden.

Das erste Kühlmittel wird zweckmäßig in einem hermetisch separierten Gefäßteil, der innerhalb eines Teils des geschlossenen Gefäßes angeordnet ist, in dem sich das zweite oder weitere Kühlmittel in flüssiger Phase befindet, zur effektiven Wärmeabgabe umgewälzt oder in einem Kreislauf hindurchbewegt.

Als Kondensator wird vorteilhaft ein mit einem dritten Kühlmittel durchflossenes Kühlrohr verwendet, das in einem geschlossenen Kühlkreislauf betrieben wird.

Vorzugsweise erfolgen die Wärmeübergänge vom ersten Kühlmittel zum zweiten oder weiteren Kühlmittel und vom zweiten Kühlmittel zum dritten Kühlmittel jeweils über mäanderförmige Kühlrohre in einem Teil des Gefäßes des zweiten oder des weiteren Kühlmittels, wobei das mäanderförmige Kühlrohr des ersten Kühlmittels innerhalb des Teils des Gefäßes mit der flüssigen Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels und das mäanderförmige Kühlrohr des dritten Kühlmittels innerhalb des Dampfraums mit der gasförmigen Phase des zweiten Kühlmittels den Wärmeübergang realisieren.

Des Weiteren wird die Aufgabe bei einer Vorrichtung zur Erzeugung von kurzweiliger Strahlung aus einem Plasma, bei der eine umlaufende Komponente zur Plasmaerzeugung und ein Schmelzbad eines ersten Kühlmittels in Form eines erschmolzenen Metalls für ein partielles Eintauchen der Komponente zur

5 Komponentenkühlung vorhanden sind, erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein geschlossenes Gefäß mit einem zweiten oder weiteren Kühlmittel, das eine auf das erste Kühlmittel abgestimmte Siedetemperatur oberhalb einer Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels aufweist, lediglich teilweise befüllt ist und oberhalb einer flüssigen Phase einen Dampfraum für eine gasförmige Phase des Kühlmittels sowie in der

10 flüssigen Phase eine Heizung zur Temperierung des zweiten oder weiteren Kühlmittels auf einer Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels aufweist, dass ein Gefäßteil des Schmelzbades des ersten Kühlmittels in dem geschlossenen Gefäß in die flüssige Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels eingetaucht ist und dass ein Kondensator, der eine Temperatur unterhalb der Siedetemperatur des zweiten

15 Kühlmittels aufweist, im Dampfraum mit der gasförmigen Phase des zweiten Kühlmittels angeordnet ist.

Vorteilhaft ist der Gefäßteil des Schmelzbades des ersten Kühlmittels in dem geschlossenen Gefäß als hermetisch separiertes Kühlrohr mit einer zum besseren

20 Wärmeübergang vergrößerten Oberfläche ausgebildet und das Kühlrohr so angeordnet, dass es in einem Ausgangszustand vollständig vom zweiten oder weiteren Kühlmittel bedeckt ist.

Der Gefäßteil des Schmelzbades des ersten Kühlmittels ist dabei vorzugsweise in dem

25 geschlossenen Gefäß als Kühlrohr parallel zur Oberfläche der flüssigen Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels angeordnet. Das Kühlrohr innerhalb der flüssigen Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels kann auch eine gewundene Form aus der Gruppe Mäander, flächige Spirale, räumliche Spirale oder Schraubenlinie aufweisen oder aber als verzweigte parallele Rohranordnung mit verringerten Rohrquerschnitten

30 ausgebildet sein.

Zusätzlich ist es möglich, dass das Kühlrohr innerhalb der flüssigen Phase des zweiten oder weiteren Kühlmittels mit lateral auskragenden Finnen- oder Gitterstrukturen ausgebildet ist.

- 5 Das Kühlrohr kann außerdem zweckmäßig einen von der Kreisform abweichenden Rohrquerschnitt aufweisen.

Vorteilhaft weist auch der Kondensator eine für den Wärmeübergang vergrößerte Oberfläche aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit auf.

- 10 Der Kondensator ist zweckmäßig als hermetisch separiertes Kühlrohr zum Durchfluss eines dritten Kühlmittels ausgebildet und außerhalb des Gefäßes des zweiten Kühlmittels in einen Kühlkreislauf eingebunden. Vorzugsweise ist der Kondensator dabei als mäanderförmig geformtes Kühlrohr ausgebildet und außerhalb des Gefäßes
15 des zweiten Kühlmittels in einen mit Wasser befüllten Kühlkreislauf eingebunden.

Es erweist sich ferner als vorteilhaft, wenn der Kondensator aus mehreren mäanderförmig geformten Kühlrohren zusammengesetzt ist.

- In einer weiteren modifizierten Ausführung ist ein strukturierter Zwischenboden zur
20 Trennung eines weiteren Dampfraumes eines weiteren Kühlmittels von der nachfolgenden zweiten Kühlflüssigkeit im Gefäß vorhanden, wodurch ein unterer Gefäßteil als zusätzliches Verdampfungs- und Kondensationsvolumen abgeteilt ist, wobei der Zwischenboden einen weiteren Kondensator bildet, der vom zweiten Kühlmittel auf eine Temperatur unterhalb der Siedetemperatur des weiteren Kühlmittels
25 eingestellt ist.

- Vorzugsweise weist der weitere Kondensator als strukturierter Zwischenboden eine vergrößerte Oberfläche auf und ist innerhalb des Gefäßes des zweiten Kühlmittels zur
Unterteilung von zwei aufeinanderfolgenden Verdampfungs- und Kondensations-
30 volumina zwischen dem zweiten Kühlmittel und dem weiteren Kühlmittel vorgesehen.

Vorzugsweise ist der strukturierte Zwischenboden als geprägtes Profilblech ausgebildet, das eine zweidimensionale Aneinanderreihung mindestens einer Struktur aus der Gruppe:

- gewölbte sphärische oder asphärische Teilflächen,

- Mantelflächen von Kegeln oder Kegelstümpfen,
- Mantelflächen von Pyramiden oder Pyramidenstümpfen,
- fingerförmige oder wellenförmige Aufwölbungen oder Vertiefungen und
- Faltenstrukturen

5 aufweist.

Des Weiteren ist es zweckmäßig, ein magnetisch antreibbares Rührwerk innerhalb der flüssigen Phase des zweiten Kühlmittels anzuordnen, um die Zirkulation des zweiten Kühlmittels um die Heizung und den Gefäßteil des ersten Kühlmittels zu verbessern.

10 Es erweist sich außerdem als vorteilhaft, wenn der Gefäßteil des ersten Kühlmittels durch eine Aneinanderreihung von Gefäßen jeweils durch flüssige Phasen von zweiten Kühlmitteln hindurchgeführt ist, wobei die zweiten Kühlmittel in aufeinanderfolgenden Gefäßen ein in Durchflussrichtung des ersten Kühlmittels abgestuftes

15 Die Erfindung basiert auf der Grundüberlegung, dass die Robustheit der Kühlung von Komponenten im Bereich der Plasmaerzeugung, wie beispielsweise die Elektroden einer entladungsplasmabasierten Strahlungsquelle oder die Emitttermaterialzuführung einer laserplasmabasierten Strahlungsquelle, die Lebensdauer der plasmanahen

20 Komponenten steigern kann, wenn bei den an der Plasmaerzeugung beteiligten Komponenten eine hocheffektive Kühlung verwendet wird. Dabei ist jedoch bei plasmabasierten Strahlungsquellen aufgrund ihres nicht kontinuierlichen Betriebsregimes ein besonderer Regelungsbedarf der Kühlung zu berücksichtigen, der aus der gepulsten Anregung bei der Plasmaerzeugung (z. B. im Burstbetrieb) sowie aus

25 kurzen und/oder längeren zeitweiligen Unterbrechungen der Anregung (z. B. im Burstbetrieb mit unterschiedlich langen Anregungspausen) und damit aus einem sich stark ändernden Wärmeeintrag in die umlaufenden Komponenten resultiert.

Die Erfindung löst dieses Problem, indem die Kühlung der umlaufenden Komponenten dreistufig erfolgt. Dabei beinhaltet die zweite Kühlstufe eine robuste selbstregelnde

30 Funktion, bei der mittels einer ausgewählten Kühlflüssigkeit (zweites oder weiteres Kühlmittel) die Temperatur des zur Kühlung verwendeten erschmolzenen Metalls (erstes Kühlmittel) moderat oberhalb seiner Schmelztemperatur gehalten wird. Das geschieht, indem das zweite Kühlmittel, das unter Betriebsbedingungen eine

Siedetemperatur oberhalb der Schmelztemperatur des erschmolzenen Metalls aufweist, zur effektiven Kühlung der hochtemperierten Metallschmelze „im Verdampfungsmodus“ und nahe der Erstarrungstemperatur des Metalls „im Konvektionskühlmodus“ betrieben wird, was zu einer „selbstregulierten“ Kühlung mit reduzierter Kühlleistung führt, sowie
5 durch eine zusätzliche (ungeregelte) Grundheizung des zweiten Kühlmittels, die das Erstarren des erschmolzenen Metalls zuverlässig verhindert.

Dazu wird das zweite Kühlmittel (oder ein weiteres Kühlmittel) so ausgewählt, dass es

- i) oberhalb seiner Siedetemperatur (infolge einer latenten Verdampfungswärme) sehr viel Energie aufnimmt, solange die Temperatur des Metalls (ersten Kühlmittels) die
10 Verdampfung des Kühlmittels bewirkt, und
- ii) unterhalb seiner Siedetemperatur (infolge einer normalen Konvektion) wesentlich weniger Energie abführt, wenn das Metall nahe seiner Erstarrungstemperatur das zweite Kühlmittel nicht mehr vollständig verdampft, sondern dieses lediglich als gewöhnlichen Wärmetauschpartner unterhalb seines Siedepunktes ausnutzt.

15 Somit wird ein Kühlmechanismus realisiert, der – ohne Regelung – bei hohen Temperaturen der Komponenten (z. B. bei der Plasmaerzeugung im Burstbetrieb mit einigen 10.000 Entladungsimpulsen bei ca. 50 kHz Wiederholfrequenz) eine sehr effektive Wärmeabfuhr aus dem ersten Kühlmittel (Metallschmelze) erreicht und bei
20 niedrigeren Temperaturen (z. B. in Entladungspausen – wenn sich die Temperatur der Erstarrungstemperatur des ersten Kühlmittels nähert) die Wärmeübertragung vom ersten Kühlmittel auf das zweite Kühlmittel (Kühlflüssigkeit) „selbstregulierend“ drosselt.

In einem hermetisch abgeschlossenen Gefäß, in dem das zweite Kühlmittel gleichzeitig
25 in flüssiger und in gasförmiger Phase vorliegt, ist es zudem möglich, durch das dritte Kühlmittel einen moderaten (nahezu konstanten) Dampfdruck des zweiten Kühlmittels oberhalb dessen flüssiger Phase einzustellen und zu halten, indem eine Kondensation der gasförmigen Phase des zweiten Kühlmittels mittels eines Kondensators erfolgt, der deutlich unterhalb der Siedetemperatur des zweiten Kühlmittels gehalten wird.

30 Mit der Erfindung ist es möglich, die Robustheit der Kühlung von Strahlungsquellen auf Basis eines Plasmas zu verbessern, wobei eine aufwändige prozessgesteuerte Temperaturregelung vermieden wird, ohne dass bei stark wechselnden

Wärmeeinträgen zu irgendeinem Zeitpunkt die Gefahr eines unerwünschten Systemausfalls der Kühlung (Erstarren des metallischen ersten Kühlmittels) besteht.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 einen prinzipiellen Aufbau der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit drei Kühlstufen, wobei ein erstes Kühlmittel (erschmolzenes Metall) mit stark variierendem Wärmeeintrag innerhalb der flüssigen Phase eines in einem geschlossenen System befindlichen zweiten Kühlmittels zur Verdampfung des zweiten Kühlmittels und ein drittes Kühlmittel in der gasförmigen Phase des zweiten Kühlmittels zum Kondensieren des zweiten Kühlmittels vorhanden sind,
- Fig. 2 die Festlegung eines Arbeitsbereichs anhand physikalischer Eigenschaften des zweiten Kühlmittels,
- Fig. 3 eine erste Ausführung der Erfindung, in der eine rotierende Scheibe, die zur Bereitstellung von EUV-Emittermaterial (Zinn) vorgesehen ist, in eine Metallschmelze eintaucht, um das auf der Scheibe befindliche Emittermaterial mit einer Laseranregung in EUV-emittierendes Plasma zu konvertieren, mit einer ersten Kühlstufe, in der die Metallschmelze als erstes Kühlmittel fungiert, einer zweiten Kühlstufe mit einem zweiten Kühlmittel (Kühlflüssigkeit GALDEN®), das innerhalb eines geschlossenen Gefäßes als Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf vorliegt und durch dessen flüssige Phase die Metallschmelze der ersten Kühlstufe hindurchgeleitet wird, sowie einer dritten Kühlstufe, die als Kondensator innerhalb der gasförmigen Phase des zweiten Kühlmittels angeordnet ist,
- Fig. 4 eine zweite Ausführung der Erfindung, bei der zwei rotierende Scheibenelektroden in jeweils separate Metallschmelzen (Zinn) eintauchen, wobei zwei erste Kühlkreisläufe mit Metallschmelze als eine erste Kühlstufe in einer gemeinsamen als Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf wirkenden zweiten

Kühlstufe durch deren flüssige Phase geführt sind, und ein Kondensator als dritte Kühlstufe das zweite Kühlmittel kondensiert,

- 5 Fig. 5 eine dritte Ausführung der Erfindung, bei der zwei rotierende Scheibenelektroden in jeweils separate Metallschmelzen (Lithium) eintauchen, wobei – in Modifikation zu Fig. 4 – die zwei ersten Kühlkreisläufe in der zweiten Kühlstufe jeweils durch einen separaten zweiten Kühlkreislauf hindurchgeführt sind, und je ein dritter Kühlkreislauf als Kondensator angeordnet ist,
- 10 Fig. 6 eine Ausführungsform des geschlossenen Gefäßes der zweiten Kühlstufe mit einem Durchfluss des ersten Kühlmittels in Form der Metallschmelze und einem Durchfluss eines dritten Kühlmittels als Kondensator in der gasförmigen Phase des zweiten Kühlmittels,
- 15 Fig. 7 eine vierte Ausführungsform der Erfindung, bei der die erste Kühlstufe schnurförmige umlaufende, partiell in ein erstes Kühlmittel (Metallschmelze von Lithium) eintauchende Drahtelektroden aufweist, in der zweiten Kühlstufe (Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf) ein Teil des Schmelzbades der ersten Kühlstufe in der flüssigen Phase eines zweiten Kühlmittels eingebettet
- 20 ist und die dritte Kühlstufe einen Kondensator mit Wasserkreislauf aufweist,
- Fig. 8 eine fünfte Ausführungsform der Erfindung, bei der in einer ersten Kühlstufe gemäß einer der Figuren 3, 4, 5 oder 6 die zur Plasmaerzeugung angewendete umlaufende Komponente in eine Metallschmelze mit hohem Schmelzpunkt
- 25 (über 1200 °C) als erstes Kühlmittel eintaucht, die erste Kühlstufe durch eine Vorstufe der zweiten Kühlstufe mit einer Metallschmelze aus einem niedrigschmelzenden Metall (unter 300 °C) hindurchgeleitet wird, wobei die Vorstufe der zweiten Kühlstufe als weiterer metallischer Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf ausgebildet ist.

30

Eine Vorrichtung zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wie sie schematisch in Fig. 1 dargestellt ist, besteht in ihrem Grundaufbau aus einem ersten Kühlmittel 11, das in einem Schmelzbad 15 mit einer zu kühlenden umlaufenden

- Komponente 12 einer plasmabasierten Strahlungsquelle 1 in thermischem Kontakt steht, einem zweiten Kühlmittel 21, das sich in einem geschlossenen Gefäß 2 befindet und mit dem ersten Kühlmittel 11 in thermischen Kontakt steht, sowie einem dritten Kühlmittel 31, das – als Kondensator 3 wirkend – mit dem zweiten Kühlmittel 21 in thermischem Kontakt steht, um dem zweiten Kühlmittel 21 Wärme zu entziehen. Die umlaufende Komponente 12 ist dabei direkt an einer Plasmaerzeugung zur Emission einer Strahlung 16 (z. B. EUV) beteiligt. Durch Eintauchen eines Teils der umlaufenden Komponente 12 in die erste Kühlflüssigkeit 11, die zugleich ein Emittiermaterial für die emittierte Strahlung 16 ist, wird eine umlaufende Beschichtung 121 erzeugt, auf die an einer vorbestimmten Stelle ein Laser 13 fokussiert ist, um durch gepulste Energiezufuhr ein Strahlung 16 emittierendes Plasma 14 zu erzeugen. Die durch das Plasma 14 stark erhitzte umlaufende Komponente 12 überträgt die Wärme in das erste Kühlmittel 11, das von dem Schmelzbad 15 über Umlaufrohre 17 einen Kühlkreis mit einem Kühlrohr 18 bildet. Dabei ist das Kühlrohr 18 durch ein geschlossenes Gefäß 2, das ein Verdampfungs-Kondensations-Volumen umschließt, in einer flüssigen Phase 21.1 eines zweiten Kühlmittels 21 geführt. Das zweite Kühlmittel 21 liegt zugleich auch in einer gasförmigen Phase 21.2 vor, die einen Dampfraum 22 im geschlossenen Gefäß 2 bildet und einen Kondensator 3 als dritte Kühlstufe enthält.
- Das erste Kühlmittel 11 ist aufgrund seines für die Strahlungsquelle 1 besonderen Zwecks, der neben der Komponentenkühlung zusätzlich mindestens in einem Erosionsschutz (durch zyklisch regenerierendes Beschichten) der umlaufenden Komponente 12 besteht, ein erschmolzenes Metall. Insofern der Stand der Technik keine anderen Kühlmittel als die hier beschriebenen bietet, weist das erste Kühlmittel 11 eine niedrige Schmelztemperatur von $< 400^{\circ}\text{C}$ auf. Es sind aber auch Metalle mit höherer Schmelztemperatur ($< 1.500^{\circ}\text{C}$) als erstes Kühlmittel 11 einsetzbar, wenn dem ersten Kühlmittel 11 nachfolgend ein weiteres Kühlmittel 25 (nur in Fig. 8 enthalten) mit der niedrigeren Schmelztemperatur ($< 400^{\circ}\text{C}$), als eine anpassende Kühlzwischenstufe bzw. als Vorstufe für das zweite Kühlmittel 21, eingesetzt wird.
- Als zweites Kühlmittel 21 wird eine Kühlflüssigkeit verwendet, deren Siedetemperatur $T_{\text{BC}2}$ (bei den gewählten Prozessbedingungen) oberhalb der Schmelztemperatur $T_{\text{MC}1}$ des ersten Kühlmittels 11 ($T_{\text{MC}1} < T_{\text{BC}2} < T_{\text{MC}1} + 100 \text{ K}$) liegt.

- Das zweite Kühlmittel 21 ist in dem geschlossenen Gefäß 2 aufgenommen und liegt deshalb gleichzeitig in einer flüssigen Phase 21.1 und in einer gasförmigen Phase 21.2 vor. In einem Teilvolumen des geschlossenen Gefäßes 2, in dem das zweite Kühlmittel 21 in der flüssigen Phase 21.1 vorliegt, befindet sich ein hermetisch vom zweiten Kühlmittel 21 separierter und mit dem ersten Kühlmittel 11 befüllter Gefäßteil (hier: stilisiertes Kühlrohr 18). Im verbleibenden Teil des geschlossenen Gefäßes 2, das einen Dampfraum 22 bildet, befindet sich das zweite Kühlmittel 21 in der gasförmigen Phase 21.2 und steht in thermischem Kontakt mit dem dritten Kühlmittel 31, das ebenfalls hermetisch vom zweiten Kühlmittel separiert als ein Kondensator 3 fungiert.
- 5 Dieser Kondensator 3 wird auf einem Temperaturniveau (T_{C3}) deutlich unterhalb der Siedetemperatur T_{BC2} des zweiten Kühlmittels 21 ($T_{C3} \leq T_{BC2} - 30 \text{ K}$) gehalten. An den Oberflächen des Kondensators 3 wird die gasförmige Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21 kondensiert und tropft in die flüssige Phase 21.1 zurück.
- 15 Das erhitze erste Kühlmittel 11 wird zu dessen Abkühlung mit dem zweiten Kühlmittel 21 in thermischen Kontakt gebracht, indem es im geschlossenen Gefäß 2 innerhalb der flüssigen Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 eingebettet, vorzugsweise hindurchgeleitet, wird.
- 20 Für das dritte Kühlmittel 31 zeigt Fig. 1 – ohne Beschränkung der Allgemeinheit –, dass dieses z. B. in Rohren, hohlen Platten, Körpern (mit oder ohne Rippen) als Kondensator 3 im Dampfraum 22 des geschlossenen Gefäßes 2 angeordnet ist. Dadurch wird das zweite Kühlmittel 21 in einem Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf, der innerhalb des geschlossenen Gefäßes 2 abläuft und von dem das dritte Kühlmittel 31 hermetisch
- 25 abgeteilt ist, durch Entzug von Kondensationswärme besonders effektiv gekühlt.
- Infolge der Auswahl des zweiten Kühlmittels 21 mit einer Siedetemperatur T_{BC2} oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} des ersten Kühlmittels 11 wird die Kühlung des letzteren nicht nur besonders effektiv, wenn ihm oberhalb der Siedetemperatur T_{BC2}
- 30 zusätzliche Verdampfungswärme entzogen wird, sondern es wird zusätzlich bei einem geringeren Wärmeeintrag der umlaufenden Komponente 12 in das erste Kühlmittel 11, d. h. in der Nähe der Schmelztemperatur T_{MC1} , eine Verringerung der Kühlleistung dadurch erreicht, dass ohne (d. h. genau genommen stark verminderte) Verdampfung

des zweiten Kühlmittels 21 deutlich weniger Wärme aus dem ersten Kühlmittel 11 abgeführt wird. Letzteres verringert die Kühlung des ersten Kühlmittels 11 zwar recht drastisch, würde aber nicht zuverlässig ein Erstarren des erschmolzenen Metalls (erstes Kühlmittel 11) verhindern. Deshalb ist in der flüssigen Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 zusätzlich eine (ungeregelte) Heizung 23 eingesetzt, die eine den Kühlmittelmengen des ersten und zweiten Kühlmittels 11 bzw. 21 angepasste konstante Wärmemenge einbringt, sodass die Schmelztemperatur T_{MC1} des ersten Kühlmittels 11 durchgängig überschritten ist, auch wenn kein Wärmeeintrag durch die umlaufenden Komponente 12 erfolgt.

Wie in Fig. 2 anhand temperaturabhängiger Werte eines Wärmeübergangskoeffizienten einer beliebigen Kühlflüssigkeit qualitativ erkennbar, können sich Wärmeübertragungsraten einer als zweites Kühlmittel 21 verwendeten Kühlflüssigkeit in der Nähe des Siedepunktes erheblich ändern.

Gemäß Fig. 2 nimmt der Wärmeübergangskoeffizient mit steigender Temperatur zunächst stetig zu. Es erfolgt ein relativ langsamer Wärmeübergang durch Konvektion. Bei einer weiteren Temperaturerhöhung geht die Konvektion in ein Bläschensieden über. Dieser Übergang äußert sich in einem steilen Anstieg des Wärmeübergangskoeffizienten gegenüber der Temperatur. Bei einer fortgesetzten Temperaturerhöhung erreicht der Wärmeübergangskoeffizient ein Maximum, bevor er bei weiterer Temperaturerhöhung stark abfällt. Nach einem Maximum beginnt ein Übergangsbereich, in dem das Bläschensieden in ein Filmsieden übergeht. In diesem Bereich ist der Wärmeübergang durch entstehenden Dampf gestört, sodass sich der Wärmeübergangskoeffizient verschlechtert.

Ein optimaler Arbeitsbereich des zweiten Kühlmittels 21 liegt deshalb in dem Bereich des Bläschensiedens, unterhalb der Temperatur des Maximums und oberhalb des Einsatzpunktes des Siedens. Um diesen Arbeitsbereich optimal auszunutzen, ist also als zweites Kühlmittel 21 eine Kühlflüssigkeit auszuwählen, deren Siedetemperatur T_{BC2} oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} des ersten Kühlmittels 11 liegt. Dadurch wird zusätzlich erreicht, dass sich bei unter die Siedetemperatur T_{BC2} fallender Temperatur T_{C2} des zweiten Kühlmittels 21 die Wärmeübertragungsrate verringert, sodass das erste Kühlmittel 11 vor Erreichen seines Erstarrungspunktes (Schmelztemperatur T_{MC1})

schlechter gekühlt wird, weil das zweite Kühlmittel 21 fast nur noch auf Basis der reinen Konvektion kühlt. D. h. durch die Anpassung des Arbeitsbereichs des zweiten Kühlmittels 21 (um dessen Siedetemperatur T_{BC2}) auf den Arbeitsbereich der ersten Kühlmittels 11 (erschmolzenes Metall mit $T_{C1} > T_{MC1}$) wird eine hohe Wärmeübertragungsrate durch Ausnutzung der Verdampfungswärme des zweiten Kühlmittels 21 erzielt und zusätzlich eine trägere Konvektionskühlung bei Annäherung an den Erstarrungspunkt des ersten Kühlmittels 11 erreicht. Damit das erste Kühlmittel 11 bei fehlendem Wärmeeintrag durch die umlaufende Komponente 12 (in Pausen der Plasmaerzeugung) nicht ungewollt erstarren kann, wird das zweite Kühlmittel 21 mit einer Heizung 23 stets auf Temperaturen T_{C2} oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} des ersten Kühlmittels 11 gehalten. Erfolgt kein Wärmeeintrag durch die umlaufende Komponente 12, dann stellen sich die Temperaturen oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} bei $T_{C1} = T_{C2}$ ein. In dieser Zeit erfolgt somit quasi auch kein wesentlicher Wärmeübergang zwischen dem ersten Kühlmittel 11 und dem zweiten Kühlmittel 21.

Steigt im konkreten Beispiel die Temperatur T_{C1} von Zinn 111 als erstem Kühlmittel 11 über die Siedetemperatur T_{BC2} einer speziellen Kühlflüssigkeit 211 (GALDEN®) als zweites Kühlmittel 21, werden dementsprechend auch höhere Wärmeübertragungsraten erreicht, sodass das erschmolzene Metall Zinn 111 effektiver gekühlt werden kann. Fällt die Temperatur des Zinns 111 unter die Siedetemperatur T_{BC2} des zweiten Kühlmittels 21, sinkt die Wärmeübertragungsrate, sodass die Abkühlung des Zinns 111 bis zur Annäherung der Temperatur T_{C1} auf Werte oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} wesentlich verlangsamt wird. Wie nachfolgend beschrieben, ist dieser Effekt nützlich für das Halten der Temperatur des ersten Kühlmittels 11 im Schmelzbad oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} von Zinn 111, wenn der Wärmeeintrag durch die umlaufenden Komponente 12 gering ist. Im entgegengesetzten Fall, wenn der Wärmeeintrag in das Zinn 111 hoch ist, wird durch die sofortige Verdampfung der flüssigen Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 im geschlossenen Gefäß 2 dem aufgeheizten Zinn 111 zusätzlich Verdampfungswärme entzogen, die für den Übergang des zweiten Kühlmittels 21 in die gasförmige Phase 21.2 erforderlich ist, sodass die Wärmeübertragungsrate vom ersten Kühlmittel 11 in das zweite Kühlmittel 21 überproportional ansteigt und die Kühlung des Zinns 111 effizienter erfolgt.

Da die umlaufenden Komponente 12 nicht permanent zur Erzeugung eines Plasmas 14 genutzt werden, unterliegt die Temperatur des als erstes Kühlmittel 11 verwendeten Zinns 111 im Schmelzbad 15 starken Schwankungen. Diesen Schwankungen wirkt die spezielle Eigenschaft des zweiten Kühlmittels 21 selbstregulierend entgegen, indem es – oberhalb seiner Siedetemperatur T_{BC2} – eine starke Kühlwirkung hat und unterhalb der Siedetemperatur T_{BC2} die Kühlwirkung deutlich abnimmt.

Wird die Erzeugung des Plasmas 14 für längere Zeit unterbrochen, bestünde durch die zwar verlangsamte, aber dennoch permanente Konvektionskühlung auch bei Temperaturen T_{C2} unterhalb der Siedetemperatur T_{BC2} des zweiten Kühlmittels 21 die Gefahr, dass das Zinn 111 seine Schmelztemperatur T_{MC1} unterschreiten und erstarren könnte. Eine erste Kühlstufe, mit der die umlaufenden Komponenten 12 im Schmelzbad 15 in direktem Kontakt stehen, würde sofort zum Erliegen kommen und die Rotation der umlaufenden Komponenten 12 unterbunden werden. Um diesen Fall auszuschließen, muss das erste Kühlmittel 11 immer auf einer Temperatur T_{C2} oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} gehalten werden. Dazu wird das zweite Kühlmittel 21 unabhängig von der Erzeugung des Plasmas 14 zwischen den umlaufenden Komponenten 12 mittels der eingebetteten Heizung 23 permanent auf diese Temperatur ($T_{C2} > T_{MC1}$) aufgeheizt. Das kann – durch Anpassung der Heizleistung an die zu heizende Menge des ersten Kühlmittels 11 – ungeregelt erfolgen.

Erstes Ausführungsbeispiel

In Fig. 3 ist eine bevorzugte Ausführung der Erfindung gezeigt, bei der die zu kühlende umlaufende Komponente 12 in Form einer rotierenden Scheibe 122 zum Bereitstellen von Emittermaterial für ein lasererzeugtes Plasma (LPP – laser-produced plasma) vorhanden ist.

Das Laserplasma 141 wird in diesem Fall durch eine Doppelimpulsanregung mittels eines Verdampfungslasers 131 und eines Haptionisationslasers 132 erzeugt, wobei das fortlaufend auf die rotierende Scheibe 122 beschichtete Emittermaterial in Form einer Beschichtung 121 aus Zinn 111, das zugleich als erstes Kühlmittel 11 verwendet wird, zunächst verdampft (Verdampfungslaser 131) und anschließend soweit aufgeheizt wird (Haptionisationslaser 132), dass es in das EUV-Strahlung emittierende Laserplasma 141 konvertiert wird.

Während der Erzeugung des Laserplasmas 141 durch die gepulste Laseranregung heizt sich die rotierende Scheibe 122 mit der Beschichtung 121 aus Zinn 111 sehr stark auf und erhitzt durch ihr Eintauchen in das Schmelzbad 15 das dort befindliche Zinn 111 ebenfalls stark, wobei die Scheibe 122 ihre Wärmeenergie sehr effektiv in das
5 Zinnreservoir im Schmelzbad 15 überträgt.

Die Wärmeabfuhr aus dem Schmelzbad 15 erfolgt in dieser ersten Kühlstufe mit einem durch Umlaufrohre 17 geführten Kreislauf, der in eine zweite Kühlstufe eingreift, indem das erschmolzene Zinn 111 der ersten Kühlstufe in hermetisch separierten Kühlrohren
10 18 durch das geschlossene Gefäß 2 der zweiten Kühlstufe geleitet wird. In dem geschlossenen Gefäß 2 ist als zweites Kühlmittel 21 die spezielle Kühlflüssigkeit 211 (GALDEN®) eingesetzt, die auf die Schmelztemperatur T_{MC1} des Zinns 111 derart abgestimmt ist, dass die Siedetemperatur T_{BC2} des zweiten Kühlmittels 21 knapp oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} des Zinns 111 liegt.

Als Kühlflüssigkeit 211 dafür ist GALDEN® HS 240 geeignet, das gegenüber der Schmelztemperatur T_{MC1} des Zinns 111 (232°C) eine um acht Kelvin (K) höhere Siedetemperatur (240°C) aufweist. Eine notwendige Grundtemperatur der flüssigen Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 wird – wie bereits oben erwähnt – durch die
20 elektrische Heizung 23 erreicht, die ungeregelt dafür sorgt, dass die Kühlflüssigkeit 211 stets oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} des Zinns 111 liegt, selbst wenn die rotierende Scheibe 122 (z. B. in den Laseranregungspausen) keinen Wärmeeintrag in das Schmelzbad 15 der ersten Kühlstufe einbringt.

Es ist aber alternativ auch möglich, GALDEN® LS 230 als geeignete Kühlflüssigkeit 211 einzusetzen, weil in dem geschlossenen Gefäß 2 flüssige Phase 21.1 und gasförmige Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21 gleichzeitig vorhanden sind und ein Betriebsdruck im geschlossenen Gefäß 2 gewählt werden kann, der den atmosphärischen Siedepunkt (230°C) von GALDEN® LS 230 um einige Kelvin anhebt.
25 Der Siedepunkt ist dabei über das Gleichgewicht aus flüssiger Phase 21.1 und gasförmiger Phase 21.2 der Kühlflüssigkeit 211 und deren Dampfdruck wie gewünscht (oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} des Zinns 111) einstellbar.
30

- Die zweite Kühlstufe läuft innerhalb des geschlossenen Gefäßes 2 ab. Da das geschlossene Gefäß 2 nicht vollständig mit dem zweiten Kühlmittel 21 gefüllt ist, liegt das zweite Kühlmittel 21 stets in flüssiger Phase 21.1 und gasförmiger Phase 21.2 zugleich vor (thermisches Gleichgewicht). Damit bei erhöhtem Wärmeeintrag durch das erste Kühlmittel 11 (Zinn 111) die Kühlflüssigkeit 211 (in diesem Beispiel: GALDEN[®] HS 240) nicht zunehmend und überwiegend in die gasförmige Phase 21.2 überführt wird, wodurch der Druck in dem geschlossenen Gefäß 2 erheblich steigen würde, muss die gasförmige Phase 21.2 in ausreichendem Maße zur Kondensation gebracht werden.
- 10 Zum Kühlen des zweiten Kühlmittels 21 wird dessen gasförmige Phase 21.2 mit einer dritten Kühlstufe in Form eines Kondensators 3 in thermischen Kontakt gebracht. Dazu ist der Kondensator 3 im Dampfraum 22 des geschlossenen Gefäßes 2 angeordnet und wird von der gasförmigen Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21 umgeben.
- 15 Der Kondensator 3 ist in diesem Beispiel von dem dritten Kühlmittel 31 durchströmt (dritte Kühlstufe) und wird auf einer Temperatur T_{C3} gehalten, die unterhalb der Siedetemperatur T_{BC2} des zweiten Kühlmittels 21 liegt. Dadurch kondensiert die gasförmige Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21 an den Oberflächen des Kondensators 3, gibt seine Kondensationswärme an das dritte Kühlmittel 31 ab und
- 20 tropft in die flüssige Phase 21.1 im geschlossenen Gefäß 2 zurück.
- Der Kondensator 3 ist vorzugsweise als Kühlkreislauf mit Wasser 311 als drittem Kühlmittel 31 ausgebildet, das durch Kühlrohre 312 zirkuliert, wobei sichergestellt wird, dass die Temperatur T_{C3} des Kondensators 3 (mit ca. 30-50°C Betriebstemperatur des Wassers 311) deutlich unterhalb der durch die Wahl der Kühlflüssigkeit 211 vorgegebenen Siedetemperatur (hier: 240°C für GALDEN[®] HS240) des zweiten Kühlmittels 21 liegt. Die hinreichend niedrige Temperatur T_{C3} des Kondensators 3 im Dampfraum 22 des geschlossenen Gefäßes 2 lässt sich durch die Wahl der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers 311 bequem einstellen und sichert somit –
- 30 auch ohne Temperaturregelung – eine zuverlässige Kondensation des zweiten Kühlmittels 21 innerhalb des geschlossenen Gefäßes 2, sodass dieses in einem thermodynamischen Gleichgewicht gehalten wird und kein sicherheitsgefährdender Überdruck entsteht.

Zweites Ausführungsbeispiel

In einer alternativen zweiten Ausführung der Erfindung für die entladungsplasmabasierte Strahlungsquelle 1 (DPP – discharge-produced plasma), wie sie in Fig. 4 dargestellt ist, werden als zu kühlende umlaufende Komponenten 12 zwei rotierende Scheibenelektroden 123 zur Erzeugung eines Entladungsplasmas 142 verwendet, wie aus dem Stand der Technik (z. B. DE 10 2010 050947 A1, US 2012/0112101 A1) bekannt.

In einem ersten Verfahrensschritt (erste Kühlstufe) werden die Scheibenelektroden 123 durch ein erstes Kühlmittel 11 in Form einer metallischen Schmelze abgekühlt. In diesem Beispiel wird als erstes Kühlmittel 11 Zinn 111 verwendet, das – über seinen Schmelzpunkt von 232 °C temperiert – in jeweils einem Schmelzbad 15 vorliegt. Über die Schmelzbäder 15 sind die Scheibenelektroden 123, die aufgrund ihrer Rotation fortlaufend mit einem anderen Teil ihres peripheren Randbereichs in das Schmelzbad 15 eintauchen, permanent mit dem erschmolzenen Zinn 111 in Kontakt.

Das Zinn 111 erfüllt zugleich die Funktion des Schutzes vor Elektrodenerosion sowie der elektrischen Kontaktierung. Außerdem ist das Zinn 111 auch hier als geeignetes Emittermaterial für die Erzeugung einer Strahlung 16 im EUV-Bereich um 13,5 nm eingesetzt und wird in Form der Beschichtung 121 als Emittermaterial für das Entladungsplasma 142 zwischen den Scheibenelektroden 123 bereitgestellt. In einem Entladungsbereich, der ein Bereich des geringsten Abstandes zwischen den Peripherien der Scheibenelektroden 123 ist, wird ein Verdampfungslaser 131 auf eine der Scheibenelektroden 123 fokussiert, um das Zinn 111 durch Verdampfung für eine Gasentladung zwischen den beiden Scheibenelektroden 123 vorzubereiten. Zur Erzeugung der Gasentladung wird eine gepulste Hochspannung durch eine Impulsstromquelle 4 bereitgestellt, die über die separaten Schmelzbäder 15 und das darin erschmolzene Zinn 111 mit den Scheibenelektroden 123 in elektrischem Kontakt steht.

Während der Erzeugung des Entladungsplasmas 142 heizen sich die Scheibenelektroden 123 sehr stark auf und erhitzen durch ihr Eintauchen in das jeweilige Schmelzbad 15 das dort befindliche Zinn 111 ebenfalls stark, wobei die

Scheibenelektroden 123 sehr effektiv Wärme in das Zinnreservoir in den separierten Schmelzbädern 15 übertragen.

Das flüssige und von den Scheibenelektroden 123 erhitze Zinn 111 wird von den
5 beiden Schmelzbädern 15 in getrennten Kreisläufen durch Umlaufrohre 17 zum
geschlossenen Gefäß 2 geführt und dort durch isolierte Durchführungen 19 in räumlich
getrennten und geeignet geformten Kühlrohren 18 in Form zweier Wärmetauscher mit
der flüssigen Phase 21.1 des hier eingesetzten zweiten Kühlmittels 21 in thermischen
10 Kontakt gebracht. Das zweite Kühlmittel 21 ist in diesem Fall eine spezielle
Kühlflüssigkeit 212 (DOWTHERM® A), die (mit angegebener Siedetemperatur von
257,1 °C) gegenüber der Schmelztemperatur des Zinns 111 (232 °C) eine um 25 K
höhere Siedetemperatur (T_{BC2}) aufweist.

Das Material der Umlaufrohre 17 und der Kühlrohre 18 ist gegenüber dem Zinn 111
15 chemisch resistent, sodass im Kreislauf die Korrosion und Erosion durch das Zinn 111
minimiert sind. Als Materialien für die Rohre 17 und 18 können Molybdän, Wolfram,
Kohlenstoff in Form von Graphit, Quarzglas oder Titannitrid-beschichtete
hochschmelzende Metalle, wie Edelstahl, oder ähnlich widerstandsfähige Materialien
oder Beschichtungen eingesetzt werden.

20 Im geschlossenen Gefäß 2 läuft der zweite Verfahrensschritt – wie bereits im ersten
Beispiel beschrieben – ab, indem das heiße Zinn 111 die Kühlflüssigkeit 212 verdampft
und dem Zinn 111 dadurch effektiv große Wärmemengen entzieht. Zusätzlich wird
durch eine Heizung 23 innerhalb der flüssigen Phase 21.1 sichergestellt, dass die
25 Temperatur T_{C2} der Kühlflüssigkeit 212 stets oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} des
Zinns 111 liegt, wenn im Dampfraum 22 des geschlossenen Gefäßes 2 die gasförmige
Phase 21.2 kondensiert wird und die so erzeugte flüssige Phase 21.1 auf die Kühlrohre
18 der beiden Kühlkreisläufe der ersten Kühlstufe und die dort befindliche flüssige
Phase 21.1 der Kühlflüssigkeit 212 zurücktropft.

30 Zur Kühlung der verdampften Kühlflüssigkeit 212 erfolgt als letzter Verfahrensschritt in
einer dritten (tertiären) Kühlstufe für die Kühlung der umlaufenden Komponente 12 die
Kondensation der gasförmigen Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21, wobei die

gasförmige Phase 21.2 an einem Kondensator 3 mit einem dritten Kühlmittel 31 permanent kondensiert wird. Das dritte Kühlmittel 31 ist bevorzugt als ein Kreislauf mit Wasser 311 ausgebildet und steht im thermischen Kontakt mit dem zweiten Kühlmittel 21, indem es im Inneren des geschlossenen Gefäßes 2 den hermetisch separierten Kondensator 3 durchströmt. Der Kondensator 3 ist dazu im Volumen der gasförmigen Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21 (d. h. im Dampfraum 22 des geschlossenen Gefäßes 2) angeordnet.

Wie in Fig. 4 dargestellt, weist die zweite Kühlstufe einen Wärmetauscher in Form eines geschlossenen Gefäßes 2 auf. Das geschlossene Gefäß 2 ist mit dem zweiten Kühlmittel 21 befüllt, wobei dieses in flüssiger Phase 21.1 die Kühlrohre 18 der ersten Kühlstufe zumindest teilweise bedeckt und im restlichen Teil des geschlossenen Gefäßes 2 den Dampfraum 22 mit gasförmiger Phase 21.2 füllt. Im unteren Teil des geschlossenen Gefäßes 2, d. h. im Bereich der flüssigen Phase 21.1, wird das geschlossene Gefäß 2 in diesem Beispiel von zwei Kühlrohren 18 durchdrungen, deren Anschlüsse elektrisch voneinander isoliert außerhalb des geschlossenen Gefäßes 2 liegen. Durch die Kühlrohre 18 erfolgt der Wärmeeintrag für den im geschlossenen Gefäß 2 realisierten Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf. An diesen ist jeweils ein Schmelzbad 15 der ersten Kühlstufe angeschlossen. Im oberen Teil des geschlossenen Gefäßes 2 befindet sich der Dampfraum 22 des zweiten Kühlmittels 21, in dem die gasförmige Phase 21.2 vorliegt und in dem der Kondensator 3 der dritten Kühlstufe angeordnet ist. Der Kondensator 3 ist in diesem Beispiel über ein Kühlrohr 312 in einen Kreislauf mit zirkulierendem Wasser 311 eingebunden und bildet die Wärmesenke im Verdampfungs-Kondensations-Kreislauf des geschlossenen Gefäßes 2.

Drittes Ausführungsbeispiel

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung gemäß Fig. 5 ist mit grundsätzlich gleichem Aufbau des Kühlsystems, gemäß dem ersten und dem zweiten Beispiel, unter Verwendung des Schmelzbades 15 mit dem ersten Kühlmittel 11, dem geschlossenen Gefäß 2 mit dem zweiten Kühlmittel 21 und dem Kondensator 3 gezeigt.

Gemäß der Ausführung von Fig. 5 ist die erste Kühlstufe wie in Fig. 4 zum Kühlen der Scheibenelektroden 123 vorgesehen, die zur Erzeugung des Entladungsplasmas 142

verwendet werden. Als erstes Kühlmittel 11 wird in diesem Fall Lithium 112 für die separierten Schmelzbäder 15 verwendet, in welche die Scheibenelektroden 123 teilweise und direkt eintauchen. Durch das Eintauchen wird der elektrische und thermische Kontakt mit dem Lithium 112 hergestellt, über das die Scheibenelektroden 123 ihre Wärme in die Schmelzbäder 15 abgeben. Der Wärmeeintrag wird mit dem Lithium 112 durch die Umlaufrohre 17 in die Kühlrohre 18 transportiert. In diesem Fall sind die Kühlrohre 18 in separaten geschlossenen Gefäßen 2 (nur eins in Fig. 5 dargestellt) eingebettet. Damit sind alle drei Kühlstufen für die einzelnen Scheibenelektroden 123 jeweils separat vorhanden und vollständig voneinander getrennt.

Das im geschlossenen Gefäß 2 vorhandene zweite Kühlmittel 21 ist in diesem Beispiel wiederum die Kühlflüssigkeit 211 (GALDEN®). Das speziell an das als erstes Kühlmittel 11 verwendete Lithium 112 angepasste GALDEN® LS200 weist eine um fast 20 K über der Schmelztemperatur T_{MC1} des Lithiums 112 liegende Siedetemperatur T_{BC2} auf. Die flüssige Phase 21.1 der ausgewählten Kühlflüssigkeit 211 steht wiederum im thermischen Kontakt mit dem von Lithium 112 durchflossenen Kühlrohr 18, das in diesem Fall durch die flüssige Phase 21.1 vollständig bedeckt und parallel zum Flüssigkeitsspiegel der flüssigen Phase 21.1 orientiert ist.

Durch die Verdampfung der Kühlflüssigkeit 211 im Dampfraum 22 wird einerseits die besonders effektive Kühlung durch Ausnutzung von Verdampfungswärme des GALDEN® LS200 oberhalb 200 °C erzielt und andererseits erreicht, dass die Kühlung in eine Konvektionskühlung übergeht, wenn durch die Scheibenelektrode 123 (z. B. bei Unterbrechungen der Erzeugung von Entladungsplasma 142) nicht der hohe Wärmeeintrag erfolgt und die Temperatur unter 200 °C sinkt.

Da dadurch allein noch nicht sicher verhindert werden kann, dass in längeren Unterbrechungen der Plasmaerzeugung das Lithium 112 erstarren könnte, ist innerhalb der flüssigen Phase 21.1 der Kühlflüssigkeit 211 zusätzlich das Heizelement 23 angeordnet, mit dem permanent eine solche Wärmemenge in das GALDEN® LS200 eingebracht wird, dass dieses eine Temperatur von $T_{C2} \geq 185^\circ\text{C}$ aufweist, um das Lithium 112 stets oberhalb der Schmelztemperatur T_{MC1} zu halten. Dazu kann zwischen einer Wandung des geschlossenen Gefäßes 2 und der Heizung 23 zusätzlich ein magnetisches Rührwerk 27 angeordnet sein, mit dem sich die Zirkulation der flüssigen

Phase 21.1 um die Heizung 23 und das Kühlrohr 18 verbessern lässt. Der Antrieb des magnetischen Rührwerks 27 kann dabei vorteilhaft außerhalb des geschlossenen Gefäßes 2 angeordnet werden.

5 Der in Fig. 5 gezeigte Kondensator 3, der in Übereinstimmung mit Fig. 4 eine Umlaufkühlung mit Wasser 311 durch ein Kühlrohr 312 aufweist, kann auch alternativ durch eine „passive“ Kühlung ersetzt werden. Hier sei die Verwendung eines Heat-pipe-Kühlers erwähnt, der einseitig als Kondensator 3 im Dampfraum 22 des geschlossenen Gefäßes 2 eingesetzt sein kann und dessen andere Seite außerhalb des
10 geschlossenen Gefäßes 2 über Luftkonvektion abgekühlt wird.

Um die Kühleigenschaften des Kondensators 3 zu ändern, können auch die Durchmesser und/oder die Wandstärken der Kühlrohre 312 innerhalb des Dampfraumes 22 des geschlossenen Gefäßes 2 verändert werden oder aber eine geänderte Anordnung oder Anzahl der Kühlrohre 312 – in Anlehnung an nachfolgende
15 Fig. 6 – eingesetzt sein.

Eine besonders kompakte Ausführungsform des geschlossenen Gefäßes 2 mit nur einem durchlaufenden Kühlrohr 18 des ersten Kühlkreislaufs mit dem metallischen ersten Kühlmittel 11 sowie einem als mäanderförmiges Kühlrohr 312 ausgebildeten
20 Kondensator 3 der dritten Kühlstufe ist in Fig. 6 dargestellt.

In dieser Ausführung ist das geschlossene Gefäß 2 nahezu würfelförmig ausgebildet und weist die Kühlrohre 18 und 312 als jeweils um 90° versetzt mäanderförmig verlaufende Wärmetauscher auf. Das Kühlrohr 18 ist dabei wenigstens teilweise in der
25 flüssigen Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 eingetaucht. Es weist einen oval geformten Querschnitt auf, um die Verdampfungsoberfläche für das zweite Kühlmittels 21 zu vergrößern. Die ovale Querschnittsform kann dabei von elliptisch bis tropfenförmig variieren, wobei eine kopfstehende „Tropfenform“, wie in Fig. 6 gezeichnet, bevorzugt ist, um das Blasensieden und Verdampfen des zweiten
30 Kühlmittels 21 zu begünstigen. Davon abweichende, aber gleichwirkende Querschnitte, wie z. B. rhombenförmige oder dreieckige Querschnitte, sind ebenfalls möglich.

Das Kühlrohr 312 des Kondensators 3 ist im oberen Teil des geschlossenen Gefäßes 2, dem Dampfraum 22, angeordnet. Es weist ebenfalls eine ovale Querschnittsform oder eine der oben erwähnten Querschnittsvariationen auf, die vorzugsweise in gleicher Weise wie beim Kühlrohr 18 ausgerichtet ist, um das Kondensieren und Abtropfen des zweiten Kühlmittels 21 zu verbessern.

Viertes Ausführungsbeispiel

Im Unterschied zu den drei vorherigen Beispielen sind die zu kühlenden umlaufenden Komponenten 12 im Beispiel gemäß Fig. 7 als endlos umlaufende schnurförmige Metallelektroden, nachfolgend kurz als Drahtelektroden 124 bezeichnet, ausgebildet. Die Erzeugung des Entladungsplasmas 142 nach diesem Prinzip ist in der US 7 649 187 B2 beschrieben, deren Inhalt hiermit durch Bezugnahme ausdrücklich mit eingeschlossen wird.

Als erstes Kühlmittel 11, das in diesem Fall auch zugleich als Emitttermaterial verwendet wird, ist wiederum Lithium 112 eingesetzt.

In diesem Fall ist das Schmelzbad 15 in der flüssigen Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 eingebettet, während der durch das Entladungsplasma 142 erhitzte Bereich der Drahtelektrode 124 über Umlenkrollen in das Schmelzbad 15 transportiert wird und dort seine Wärme abgibt. Die Wärmeübertragung vom ersten Kühlmittel 11 an das zweite Kühlmittel 21 erfolgt dabei – genauso wie im ersten Beispiel beschrieben – durch Konvektion, solange die Siedetemperatur T_{BC2} unterschritten wird. Die Minimaltemperatur zur Erhaltung der Metallschmelze wird durch die (ungeregelte) Heizung 23 innerhalb des zweiten Kühlmittels 21 sichergestellt. Überschreitet die Temperatur T_{C1} des Schmelzbades 15 die Siedetemperatur T_{BC2} des zweiten Kühlmittels 21, so setzt die effizientere Kühlung durch Verdampfung des zweiten Kühlmittels 21 ein.

In diesem Beispiel hat das als erstes Kühlmittel 11 eingesetzte Lithium 112 eine Schmelztemperatur $T_{MC1} = 180,5^{\circ}\text{C}$. Als dazu abgestimmtes zweites Kühlmittel 21 wird wiederum die Kühlflüssigkeit 212 (DOWTHERM[®] J), mit einer Siedetemperatur $T_{BC2} = 181^{\circ}\text{C}$ verwendet. Da in diesem Fall das Temperaturintervall mit Konvektionskühlung des Lithiums 112 jedoch nur 0,5 K ist, kann als zweites Kühlmittel

21 alternativ die Kühlflüssigkeit 211 (GALDEN[®] LS200) mit einer Siedetemperatur $T_{BC2} = 200^{\circ}\text{C}$, die fast 20 K über der Schmelztemperatur T_{MC1} des Lithiums 112 liegt, durchaus vorzuziehen sein. Durch letztere Kühlflüssigkeit 211 ist für das hier verwendete Lithium 112 das oben beschriebene Prinzip der variablen Kühleffektivität in Abhängigkeit von der Temperatur T_{C1} des ersten Kühlmittels 11 genauso erreichbar wie im vorherigen Beispiel. Die Funktion der innerhalb des geschlossenen Gefäßes 2 realisierten zweiten Kühlstufe stimmt somit mit der im dritten Beispiel überein.

In der dritten Kühlstufe gemäß der Ausführung von Fig. 7 ist der Kondensator 3 als ein mehrteiliger Kühlkreislauf (nicht komplett dargestellt) ausgeführt, dessen Temperatur T_{C3} deutlich unterhalb der Siedetemperatur T_{BC2} der Kühlflüssigkeit 212 (DOWTHERM[®] J) oder der Kühlflüssigkeit 211 (GALDEN[®] LS200) eingestellt ist (z. B. Wasser bei Raumtemperatur). Die vorzugsweise überkreuzend angeordneten Kühlrohre 312 und 313 sind als Mäander realisiert. Es können jedoch auch Gitterstrukturen oder lamellen- oder rippenbestückte Kühlrohre 312 und 313 im Dampfraum 22 des geschlossenen Gefäßes 2 angeordnet sein.

Bei einer in Fig. 8 dargestellten weiteren Gestaltung der Anordnung ist sowohl auf die komplette Darstellung der ersten Kühlstufe mit dem umlaufenden metallischen ersten Kühlmittel 11 als auch auf die vollständige Darstellung der dritten Kühlstufe mit einem vorzugsweise als Wasserkühlkreislauf betriebenen Kondensator 3 verzichtet worden. Der Gegenstand der Modifikation gegenüber allen vorherigen Gestaltungen liegt hierbei in der Realisierung des effektiven Wärmeaustauschs im geschlossenen Gefäß 2 bei zwei weiteren Beispielen für Kombinationen von Kühlmitteln. Die Besonderheit der Anordnung liegt darin, dass von der ersten Kühlstufe bis zur dritten Kühlstufe vier Kühlmittel eingesetzt sind, wobei zwischen dem ersten metallischen Kühlmittel 11 und dem zweiten Kühlmittel 21 eine Zwischenstufe mit einem weiteren Kühlmittel 25 als prinzipgleiche Vorstufe der zweiten Kühlstufe eingefügt ist. Dadurch ändert sich lediglich der konkrete Aufbau des geschlossenen Gefäßes 2 der zweiten Kühlstufe durch Einbau einer Vor- bzw. Zwischenstufe in Form eines hermetisch separierten Gefäßteils 24 vor der zweiten Kühlstufe innerhalb des geschlossenen Gefäßes 2, das den Verdampfungs-/Kondensations-Kreislauf des weiteren Kühlmittels 25 enthält.

Fünftes Ausführungsbeispiel

Anstelle niedrigschmelzender Metalle, wie Zinn 111 oder Lithium 112, ist in diesem Beispiel als erstes Kühlmittel 11 ein hochschmelzendes Metall, nämlich Gadolinium (Gd) mit einer Schmelztemperatur $T_{MC1} = 1313^{\circ}\text{C}$, eingesetzt.

5

Als dazu angepasstes weiteres Kühlmittel 25 ist Wismut (Bi) mit einer Schmelztemperatur $T_{MC5} = 217^{\circ}\text{C}$ und einer Siedetemperatur $T_{BC5} = 1560^{\circ}\text{C}$ ausgewählt worden, das als Verdampfungs-/Kondensations-Kreislauf eine Vorstufe der aus allen vorherigen Beispielen bekannten zweiten Kühlstufe mit dem zweiten Kühlmittel 21

10 darstellt. Der Wärmeübergang vom ersten Kühlmittel 11 (Gadolinium) auf das weitere Kühlmittel 25 (Wismut) erfolgt in der flüssigen Phase 25.1 (Wismut-Schmelze 251) im unteren Gefäßteil 24 des geschlossenen Gefäßes 2, in die das Kühlrohr 18 der ersten Kühlstufe eingebettet ist.

15 Weiterhin ist – wie in allen vorherigen Beispielen – in der Nähe des Kühlrohres 18 am Boden des geschlossenen Gefäßes 2 die Heizung 23 angeordnet, die in diesem Fall sehr leistungsfähig und elektrisch isoliert ausgebildet ist. Die Heizung 23 in der Wismut-Schmelze 251 sorgt dafür, dass die Temperatur T_{C5} des weiteren Kühlmittels 25 die Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels 11 (Gadolinium: $T_{MC1} = 1313^{\circ}\text{C}$) übersteigt,

20 damit das erste Kühlmittel 11 in den Umlaufrohren 17 über das Kühlrohr 18 stets fließfähig gehalten wird, falls an der umlaufenden Komponente 12 gerade kein Wärmeeintrag durch Plasmaerzeugung erfolgen sollte.

Die Wärmeabgabe von dem weiteren Kühlmittel 25 im unteren Gefäßteil 24 erfolgt in

25 einem weiteren Dampfraum 26, der mit einem weiteren Kondensator 5 in thermischem Kontakt steht. Der weitere Kondensator 5 ist als ein Zwischenboden 51 im geschlossenen Gefäß 2 angeordnet, der den weiteren Dampfraum 26 mit der gasförmigen Phase 25.2 des Wismuts und damit den unteren Gefäßteil 24 (der Vorstufe) von der flüssigen Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 trennt. Als zweites Kühlmittel 21 werden die

30 Kühlflüssigkeiten 211 oder 212 (GALDEN[®] oder DOWTHERM[®]) verwendet, wobei wie im ersten und zweiten Ausführungsbeispiel bevorzugt GALDEN[®] HS240 verwendet wird. Als Alternative kommen auch GALDEN[®] HS260 oder DOWTHERM[®] A infrage.

- Der Zwischenboden 51 besteht aus gut wärmeleitendem Metall. Er ist mit einer oberflächenvergrößernden Struktur versehen, die als geprägtes Blech, ähnlich einem Waschbrett, aus linearen Strukturen oder, ähnlich einer Eierpackung, aus aneinandergesetzten gewölbten Teilflächen von Sphären oder Asphären besteht oder aufgereihete Mantelflächen von Kegeln oder Kegelstümpfen, Pyramiden oder Pyramidenstümpfen etc. oder eine Vielzahl von sich abwechselnden fingerförmigen oder wellenförmigen Ausstülpungen und Vertiefungen aufweist. Der Zwischenboden 51 kann jegliche vorstellbare Art von Ausstülpungen und Vertiefungen aufweisen, deren maximale Feingliedrigkeit jedoch von der möglichen Kapillarwirkung der Vertiefungen begrenzt wird, weil es nicht zum Verstopfen der Vertiefungen durch die am strukturierten Blech kondensierende gasförmige Phase 25.2 des weiteren Kühlmittels 25 und nicht zur Behinderung des Blasensiedens des darüber befindlichen zweiten Kühlmittels 21 kommen darf.
- Der Zwischenboden 51 kann zusätzlich zu den vorstehend beschriebenen kleinen oberflächenvergrößernden Strukturen auch ein globales Niveauprofil aufweisen. Dieses Niveauprofil kann – je nach Form des geschlossenen Gefäßes 2 (zylindrisch oder quaderförmig) – eine oder mehrere Mitten- oder Randabsenkungen ausbilden, in denen das zweite Kühlmittel 21 ein Reservoir vorfindet, wenn im Volllastbetrieb ansonsten nur noch kondensierte flüssige Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21 auf den Zwischenboden 51 zurücktropfen würde.

Der Wärmetransfer innerhalb des über dem Zwischenboden 51 liegenden Teils des geschlossenen Gefäßes 2 der zweiten Kühlstufe (Verdampfungs-/Kondensations-Kreislauf des zweiten Kühlmittels 21) erfolgt dann in gleicher Weise, wie oben bereits im ersten bis vierten Beispiel beschrieben, mit einem vorzugsweise wassergekühlten Kondensator 3, der den Dampfraum 22 der gasförmigen Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21 mit wenigstens einem Kühlrohr 312 durchquert.

30 Sechstes Ausführungsbeispiel

Basierend auf der Anordnung gemäß Fig. 8 wird nachfolgend eine weitere Ausführung der Erfindung mit einer Kühlzwischenstufe zwischen dem ersten Kühlmittel 11 und dem

zweiten Kühlmittel 21 zur Kühlung der umlaufenden Komponente 12 einer plasmabasierten Strahlungsquelle 1 beschrieben

Als erstes Kühlmittel 11 wird in diesem Beispiel Terbium (Tb) verwendet, das eine Schmelztemperatur $T_{MC1} = 1356^{\circ}\text{C}$ aufweist und oberhalb dieser Temperatur als Schmelze in einem Kühlkreislauf geführt wird. Der erste Kühlkreislauf wird innerhalb von Umlaufrohren 17 und innerhalb des Kühlrohrs 18 durch das geschlossene Gefäß 2 geführt, wobei das Kühlrohr 18 zur Kühlung des Terbium mit der flüssigen Phase 25.1 des weiteren Kühlmittels 25, das hier wie im vorigen Beispiel Wismut ist, im unteren Gefäßteil 24 des geschlossenen Gefäßes 2 in Kontakt ist. Die als Vorstufe zur zweiten Kühlstufe verwendete Wismut-Schmelze 251 hat (mit ihrer Schmelztemperatur $T_{MC5} = 217^{\circ}\text{C}$ und der Siedetemperatur $T_{BC5} = 1560^{\circ}\text{C}$) auch gegenüber dem als erstes Kühlmittel 11 verwendeten Terbium die erforderlichen Voraussetzungen, um als Verdampfungs-/Kondensations-Kreislauf betrieben zu werden, der eine Vorstufe zum Verdampfungs-/Kondensations-Kreislauf des zweiten Kühlmittels 21 bildet.

Dabei wird die flüssige Phase 25.1 des Wismuts – wie im fünften Beispiel beschrieben – im unteren Gefäßteil 24 des geschlossenen Gefäßes 2 in den weiteren Dampfraum 26 verdampft und kondensiert an dem den oberen Abschluss bildenden Zwischenboden 51, der als oberflächenmaximiertes Profilblech den weiteren Kondensator 5 bildet. Der Zwischenboden 51, der – wie im vorigen Beispiel angegeben – verschiedenste Formgebungen zu Oberflächenvergrößerung aufweisen kann, steht dann mit dem zweiten Kühlmittel 21 in thermischem Kontakt und bringt dieses zum Sieden.

Zur Kühlung des weiteren Kühlmittels 25 (Wismut) befindet sich auf der Oberseite des Zwischenbodens 51 die flüssige Phase 21.1 des zweiten Kühlmittels 21, für das vorzugsweise DOWTHERM[®] A, mit einer Siedetemperatur $T_{BC2} = 257^{\circ}\text{C}$, gewählt wird. Alternativ können jedoch auch GALDEN[®] HS240 (mit $T_{BC2} = 240^{\circ}\text{C}$) oder GALDEN[®] HS260 (mit $T_{BC2} = 260^{\circ}\text{C}$) zum Einsatz kommen.

Oberhalb der flüssigen Phase 21.1 der zweiten Kühlflüssigkeit 211 wird vom geschlossenen Gefäß 2 der nächste geschlossene Dampfraum 22 gebildet, in dem – wie in allen vorherigen Beispielen – der Kondensator 3 angeordnet ist, an dem die

gasförmige Phase 21.2 des zweiten Kühlmittels 21 kondensiert, um in diesem Fall auf den strukturierten Zwischenboden 51 zurückzutropfen. Als drittes Kühlmittel 31 kommt wiederum bevorzugt Wasser in einem Kühlkreislauf zum Einsatz.

- 5 Die zum Aufrechterhalten des Schmelzzustandes des ersten Kühlmittels 11 (Terbium) erforderliche Temperierung oberhalb der hier notwendigen Schmelztemperatur $T_{MC1} = 1356^{\circ}\text{C}$ erfolgt durch die Heizung 23, die in der flüssigen Phase 25.1 des als Vorstufe zum zweiten Kühlmittel 21 vorhandenen weiteren Kühlmittels 25 wiederum am Boden des geschlossenen Gefäßes 2 angeordnet ist. Damit wird in Entladungspausen
- 10 der Strahlungsquelle 1, in denen die umlaufende Komponente 12 nicht den erwartet hohen Wärmeeintrag erbringt, das weitere Kühlmittel 25 auf eine Temperatur $T_{C5} > T_{MC1} = 1356^{\circ}\text{C}$ geheizt, um das als erstes Kühlmittel 11 verwendete Terbium im flüssigen Zustand zu halten.
- 15 Zusammenfassend kann durch den Einsatz des erfindungsgemäßen Kühlverfahrens und der beschriebenen Vorrichtungen die sehr komplexe Steuerung und Konstruktion der aus dem Stand der Technik bekannten Kühllösungen mit Sprühkühlung durch eine einfache und sehr robuste Lösung ersetzt werden, für die kein Regelungsaufwand erforderlich ist. Durch die geringeren Temperaturunterschiede zwischen den Kühlstufen
- 20 und durch das auf die erste Kühlstufe angepasste Verhalten der zweiten und dritten Kühlstufe wird gegenüber den Sprühkühlungen sowohl die Gefahr des Erstarrens der metallischen Schmelze des ersten Kühlmittels 11 stark vermindert als auch eine weniger zeitkritische Reaktion der Kühleffektivität erreicht. Die Metallerstarrung wird durch die unregelmäßige Heizung 23 unterbunden.

Bezugszeichenliste

- | | | |
|----|------|---|
| | 1 | Strahlungsquelle |
| | 11 | erstes Kühlmittel |
| 5 | 111 | Zinn |
| | 112 | Lithium |
| | 12 | umlaufende Komponente |
| | 121 | Beschichtung |
| | 122 | rotierende Scheibe (zum Bereitstellen von Emitttermaterial) |
| 10 | 123 | Scheibenelektrode |
| | 124 | Drahtelektrode |
| | 13 | Laser |
| | 131 | Verdampfungslaser |
| | 132 | Hauptionisationslaser |
| 15 | 14 | Plasma |
| | 141 | Laserplasma (LPP) |
| | 142 | Entladungsplasma (DPP) |
| | 15 | Schmelzbad |
| | 16 | Strahlung |
| 20 | 17 | Umlaufrohr |
| | 18 | Kühlrohr |
| | 19 | isolierte Durchführungen |
| | 2 | geschlossenes Gefäß |
| | 21 | zweites Kühlmittel |
| 25 | 21.1 | flüssige Phase des zweiten Kühlmittels |
| | 21.2 | gasförmige Phase des zweiten Kühlmittels |
| | 211 | Kühlflüssigkeit GALDEN® |
| | 212 | Kühlflüssigkeit DOWTHERM® |
| | 22 | Dampfraum |
| 30 | 23 | Heizung |
| | 24 | (unterer) Gefäßteil (des Gefäßes) |
| | 25 | weiteres Kühlmittel (Vorstufe zum zweiten Kühlmittel) |
| | 25.1 | flüssige Phase des weiteren Kühlmittels |
| | 25.2 | gasförmige Phase des weiteren Kühlmittels |

	251	Wismut-Schmelze
	26	weiterer Dampfraum
	27	Rührwerk
	3	Kondensator
5	31	drittes Kühlmittel
	311	Wasser
	312	Kühlrohr
	313	Kühlrohr
	4	Impulsstromquelle
10	5	weiterer Kondensator
	51	Zwischenboden
	T_{C1}	Temperatur des ersten Kühlmittels
	T_{MC1}	Schmelztemperatur des ersten Kühlmittels
	T_{C2}	Temperatur des zweiten Kühlmittels
15	T_{BC2}	Siedetemperatur des zweiten Kühlmittels
	T_{C3}	Temperatur des dritten Kühlmittels
	T_{C5}	Temperatur des weiteren Kühlmittels
	T_{BC5}	Siedetemperatur des weiteren Kühlmittels
	T_{MC5}	Schmelztemperatur des weiteren Kühlmittels
20		

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kühlung von Strahlungsquellen auf Basis eines Plasmas, bei dem eine an der Plasmaerzeugung beteiligte zu kühlende umlaufende Komponente (12) durch umlaufende Bewegung beschichtet und sukzessive fortschreitend an einer anderen Stelle zur Plasmaerzeugung benutzt wird, enthaltend die Schritte:
- 5 - primäres Kühlen der umlaufenden Komponente (12) durch deren umlaufende Bewegung und partielles Eintauchen in ein erstes Kühlmittel (11), das in Form eines Schmelzbades (15) eines Metalls ausgebildet ist,
- 10 - sekundäres Kühlen der umlaufenden Komponente (12) durch thermischen Kontakt des ersten Kühlmittels (11) mit einem zweiten oder weiteren Kühlmittel (21; 25) über wenigstens einen hermetisch separierten Gefäßteil (15; 18) in einem geschlossenen Gefäß (2), wobei
- 15 * das geschlossene Gefäß (2) lediglich zu einem Teil, in dem der separierte Gefäßteil (15; 18) des ersten Kühlmittels (11) angeordnet ist, mit einer flüssigen Phase (21.1; 25.1) des zweiten oder weiteren Kühlmittels (21; 25) gefüllt und oberhalb der flüssigen Phase (21.1; 25.1) ein Dampfraum (22; 26) aus einer gasförmigen Phase (21.2; 25.2) des zweiten oder weiteren Kühlmittels (21; 25) gebildet wird, und
- 20 * als zweites oder weiteres Kühlmittel (21; 25) eine Kühlflüssigkeit (211; 212; 251), verwendet wird, deren Siedepunkt oberhalb der Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) einstellbar ist,
- 25 - Temperieren der flüssigen Phase (21.2; 25.2) des zweiten oder weiteren Kühlmittels (21; 25), die den separierten Gefäßteil (15; 18) des ersten Kühlmittels (11) mindestens teilweise umgibt, auf eine Temperatur (T_{C2} ; T_{C5}), die oberhalb der Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) liegt; sodass das erste Kühlmittel (11) durch thermischen Kontakt zum zweiten oder weiteren Kühlmittel (21, 25) in einem definierten Temperaturintervall oberhalb seiner Schmelztemperatur (T_{MC1}) gehalten wird, und
- 30 - tertiäres Kühlen der umlaufenden Komponente (12) durch einen Kondensator (3), der im Dampfraum (22) des geschlossenen Gefäßes (2) in thermischem Kontakt mit der gasförmigen Phase (21.2) des zweiten Kühlmittels (21) steht, wobei eine die Siedetemperatur (T_{BC2}) des zweiten Kühlmittels (21) unterschreitende Temperatur (T_{C3}) des Kondensators (3) eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zu kühlende umlaufende Komponente (12) als rotierende Scheibe (122) zum Bereitstellen einer Beschichtung (121) eines in ein Plasma (14) zu konvertierenden Emitttermaterials ausgebildet ist und mit einem Teil ihres peripheren Randbereichs durch ein Schmelzbad (15) des Emitttermaterials hindurchbewegt wird, wobei das Emitttermaterial zugleich als erstes Kühlmittel (11) verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zu kühlende umlaufende Komponente (12) als umlaufende Elektrode (123; 124) ausgebildet ist und mit einem Teil ihres umlaufenden Materials durch ein Schmelzbad (15) aus dem ersten Kühlmittel (11) hindurchbewegt wird, wobei für umlaufende Elektroden (123; 124) mit unterschiedlichem Potential separate Schmelzbäder (15) verwendet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als zweites oder weiteres Kühlmittel (21; 25) eine Kühlflüssigkeit (211; 212; 251) ausgewählt wird, deren Siedetemperatur (T_{BC2}) unter Betriebsbedingungen im geschlossenen Gefäß (2) die Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) um einen Betrag zwischen 1 K und 250 K übersteigt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei als Kühlflüssigkeit (211) GALDEN[®] mit einer Siedetemperatur (T_{BC2}) bei Normaldruck von 1 K oder mehr über der Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) verwendet und im geschlossenen Gefäß (2) unter Normaldruck gehalten wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei als Kühlflüssigkeit (211) GALDEN[®] mit einer Siedetemperatur (T_{BC2}) bei Normaldruck von wenigen Kelvin unter der Schmelztemperatur (T_{MC1}) verwendet und im geschlossenen Gefäß (2) unter erhöhtem Druck auf eine Siedetemperatur (T_{BC2}) von 1 K oder mehr über der Schmelztemperatur (T_{MC1}) eingestellt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 4, wobei als Kühlflüssigkeit (212) DOWTHERM[®] A mit einer Siedetemperatur bei Normaldruck von 257,1°C verwendet und im geschlossenen Gefäß (2) unter Normaldruck gehalten wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste Kühlmittel (11) in einem hermetisch separierten Gefäßteil (15; 18), der innerhalb eines Teils des geschlossenen Gefäßes (2), in dem sich das zweite Kühlmittel (21) in flüssiger Phase (21.1) befindet, angeordnet ist, zur effektiven Wärmeabgabe umgewälzt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als Kondensator (3) ein mit einem dritten Kühlmittel (31) durchflossenes Kühlrohr (312; 313) verwendet wird, das in einem geschlossenen Kühlkreislauf betrieben wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei ein Wärmeübergang vom ersten Kühlmittel (11) zum zweiten oder weiteren Kühlmittel (21, 25) und vom zweiten Kühlmittel (21) zum dritten Kühlmittel (31) jeweils über mäanderförmige Kühlrohre (18; 312; 313) in einem Teil des Gefäßes (2) des zweiten oder weiteren Kühlmittels (21; 25) erfolgt, wobei das mäanderförmige Kühlrohr (18) des ersten Kühlmittels (11) innerhalb des Teils des Gefäßes (2) mit der flüssigen Phase (21.1) des zweiten Kühlmittels (21) und das mäanderförmige Kühlrohr (312; 313) des dritten Kühlmittels (31) innerhalb des Dampfraums (22) mit der gasförmigen Phase (21.2) des zweiten oder weiteren Kühlmittels (21; 25) den Wärmeübergang ausführt.

11. Vorrichtung zur Erzeugung von kurzwelliger Strahlung aus einem Plasma, bei der eine umlaufende Komponente (12) zur Plasmaerzeugung und ein Schmelzbad (15) eines ersten Kühlmittels (11) in Form eines erschmolzenen Metalls (111; 112) für ein partielles Eintauchen der umlaufenden Komponente (12) zur Komponentenkühlung vorhanden sind, dadurch gekennzeichnet, dass

- ein geschlossenes Gefäß (2) mit einem zweiten oder weiteren Kühlmittel (21; 25), das eine auf das erste Kühlmittel (11) abgestimmte Siedetemperatur (T_{BC2} ; T_{BC5}) oberhalb einer Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) aufweist, lediglich teilweise befüllt ist und oberhalb einer flüssigen Phase (21.1, 25.1) einen Dampfraum (22, 26) für eine gasförmige Phase (21.2, 25.2) des Kühlmittels (21; 25) sowie in der flüssigen Phase (21.1, 25.1) eine Heizung (23) zur Temperierung des zweiten oder des weiteren Kühlmittels (21; 25) auf eine

Temperatur (T_{C2} ; T_{C5}) oberhalb der Schmelztemperatur (T_{MC1}) des ersten Kühlmittels (11) aufweist,

- ein Gefäßteil des Schmelzbades (15; 18) des ersten Kühlmittels (11) in dem geschlossenen Gefäß (2) in die flüssige Phase (21.1; 25.1) des zweiten oder weiteren Kühlmittels (21; 25) eingetaucht ist und
- ein Kondensator (3), der eine Temperatur (T_{C3}) unterhalb der Siedetemperatur (T_{BC2}) des zweiten Kühlmittels (21) aufweist, im Dampfraum (22) mit der gasförmigen Phase (21.2) des zweiten Kühlmittels (21) angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Gefäßteil des Schmelzbades (15) des ersten Kühlmittels (11) in dem geschlossenen Gefäß (2) als hermetisch separiertes Kühlrohr (18) mit zum besseren Wärmeübergang vergrößerter Oberfläche ausgebildet und so angeordnet ist, dass es in einem Ausgangszustand vollständig vom zweiten oder weiteren Kühlmittel (21; 25) bedeckt ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Gefäßteil des Schmelzbades (15) des ersten Kühlmittels (11) in dem geschlossenen Gefäß (2) als Kühlrohr (18) parallel zur Oberfläche der flüssigen Phase (21.1; 25.1) des Kühlmittels (21; 25) angeordnet ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (18) innerhalb der flüssigen Phase (21.1; 25.1) des zweiten oder weiteren Kühlmittels (21; 25) eine gewundene Form aus der Gruppe Mäander, flächige Spirale, räumliche Spirale oder Schraubenlinie aufweist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (18) innerhalb der flüssigen Phase (21; 25.1) des Kühlmittels (21; 25) als verzweigte parallele Rohranordnung mit verringerten Rohrquerschnitten ausgebildet ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (18) innerhalb der flüssigen Phase (21.1; 25.1) des Kühlmittels (21; 25) mit lateral auskragenden Finnen- oder Gitterstrukturen ausgebildet ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Kühlrohr (18) einen von der Kreisform abweichenden Rohrquerschnitt aufweist.
- 5 18. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (3; 5) eine zum Wärmeübergang vergrößerte Oberfläche aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit aufweist.
- 10 19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (3) als hermetisch separiertes Kühlrohr (312; 313) zum Durchfluss eines dritten Kühlmittels (31) ausgebildet ist und außerhalb des geschlossenen Gefäßes (2) des zweiten Kühlmittels (21) in einen Kühlkreislauf eingebunden ist.
- 15 20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (3) als mäanderförmig geformtes Kühlrohr (312; 313) ausgebildet ist und außerhalb des geschlossenen Gefäßes (2) des zweiten Kühlmittels (21) in einen mit Wasser (311) befüllten Kühlkreislauf eingebunden ist.
- 20 21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Kondensator (3) aus mehreren mäanderförmig geformten Kühlrohren (312; 313) zusammengesetzt ist.
- 25 22. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass ein strukturierter Zwischenboden (51) zur Trennung eines weiteren Dampfraumes (26) eines weiteren Kühlmittels (25) vom nachfolgenden zweiten Kühlmittel (21) im geschlossenen Gefäß (2) vorhanden ist, wodurch ein unterer Gefäßteil (24) als zusätzliches Verdampfungs- und Kondensationsvolumen abgeteilt ist, wobei der Zwischenboden (51) einen weiteren Kondensator (5) bildet, der vom zweiten Kühlmittel (21) auf eine Temperatur (T_{C2}) unterhalb der Siedetemperatur (T_{BC5}) des weiteren Kühlmittels (25) eingestellt ist.
- 30 23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der weitere Kondensator (5) als strukturierter Zwischenboden (51) eine vergrößerte Oberfläche aufweist und innerhalb des geschlossenen Gefäßes (2) zur Unterteilung von zwei

aufeinanderfolgenden Verdampfungs- und Kondensationsvolumina zwischen dem zweiten Kühlmittel (21) und dem weiteren Kühlmittel (25) vorgesehen ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der strukturierte Zwischenboden (51) als geprägtes Profilblech eine zweidimensionale Aneinanderreihung mindestens einer Struktur aus der Gruppe gewölbte sphärische oder asphärische Teilflächen, Mantelflächen von Kegeln oder Kegelstümpfen, Mantelflächen von Pyramiden oder Pyramidenstümpfen, fingerförmige oder wellenförmige Aufwölbungen oder Vertiefungen und Faltenstrukturen aufweist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein magnetisch antreibbares Rührwerk (27) innerhalb der flüssigen Phase (21.1) des zweiten Kühlmittels (21) vorhanden ist, um die Zirkulation des zweiten Kühlmittels (21) um die Heizung (23) und den Gefäßteil (18; 15) des ersten Kühlmittels (11) zu verbessern.

26. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Gefäßteil (15; 18) des ersten Kühlmittels (11) mittels einer Aneinanderreihung von geschlossenen Gefäßen (2) des zweiten Kühlmittels (21) jeweils durch flüssige Phasen (21.1) von zweiten Kühlmitteln (21) hindurchgeführt ist, wobei die zweiten Kühlmittel (21) in aufeinanderfolgenden geschlossenen Gefäßen (2) ein in Durchflussrichtung des ersten Kühlmittels (11) abgestuftes Temperaturniveau aufweisen.

25 – Hierzu 8 Seiten Zeichnungen –

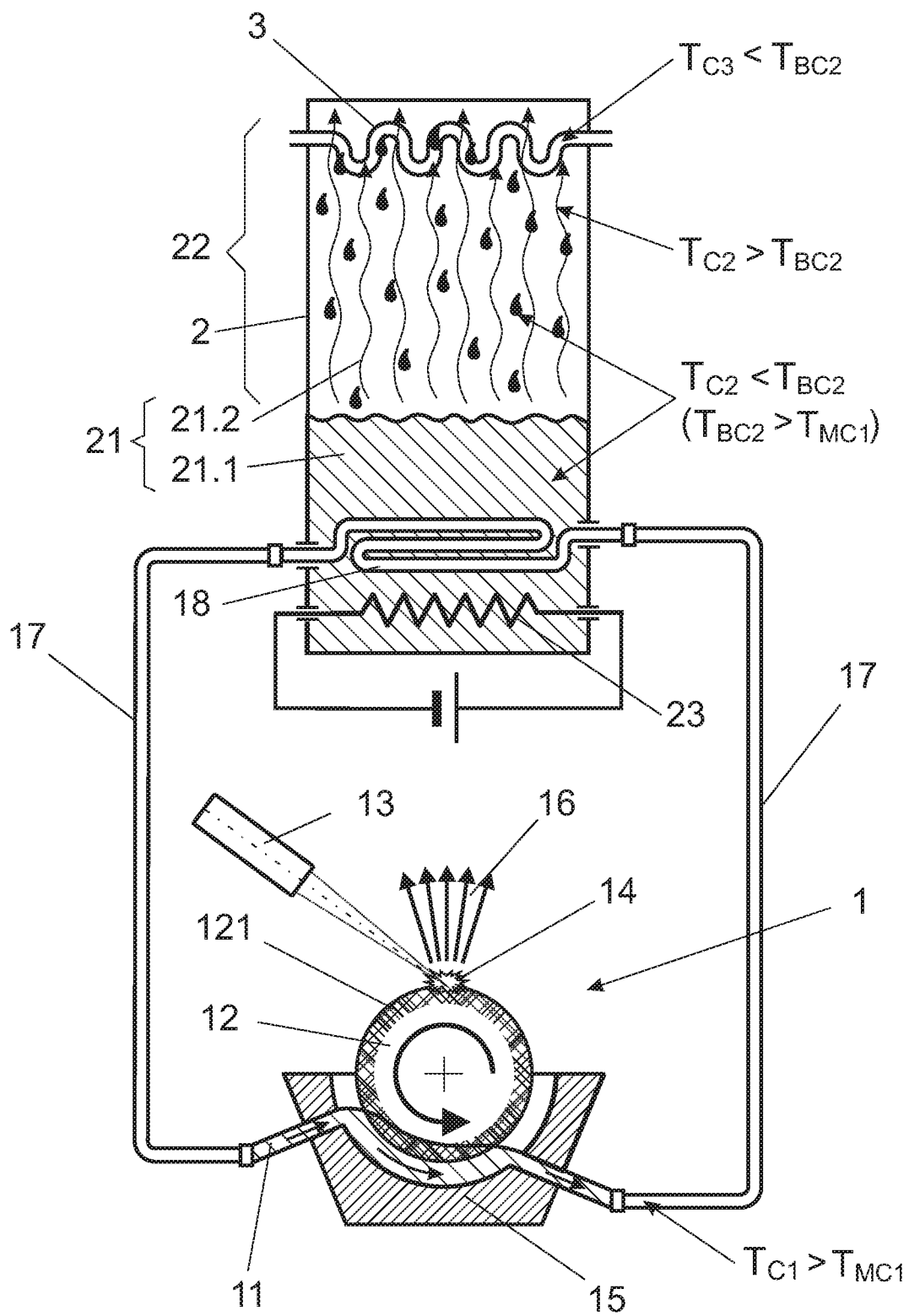
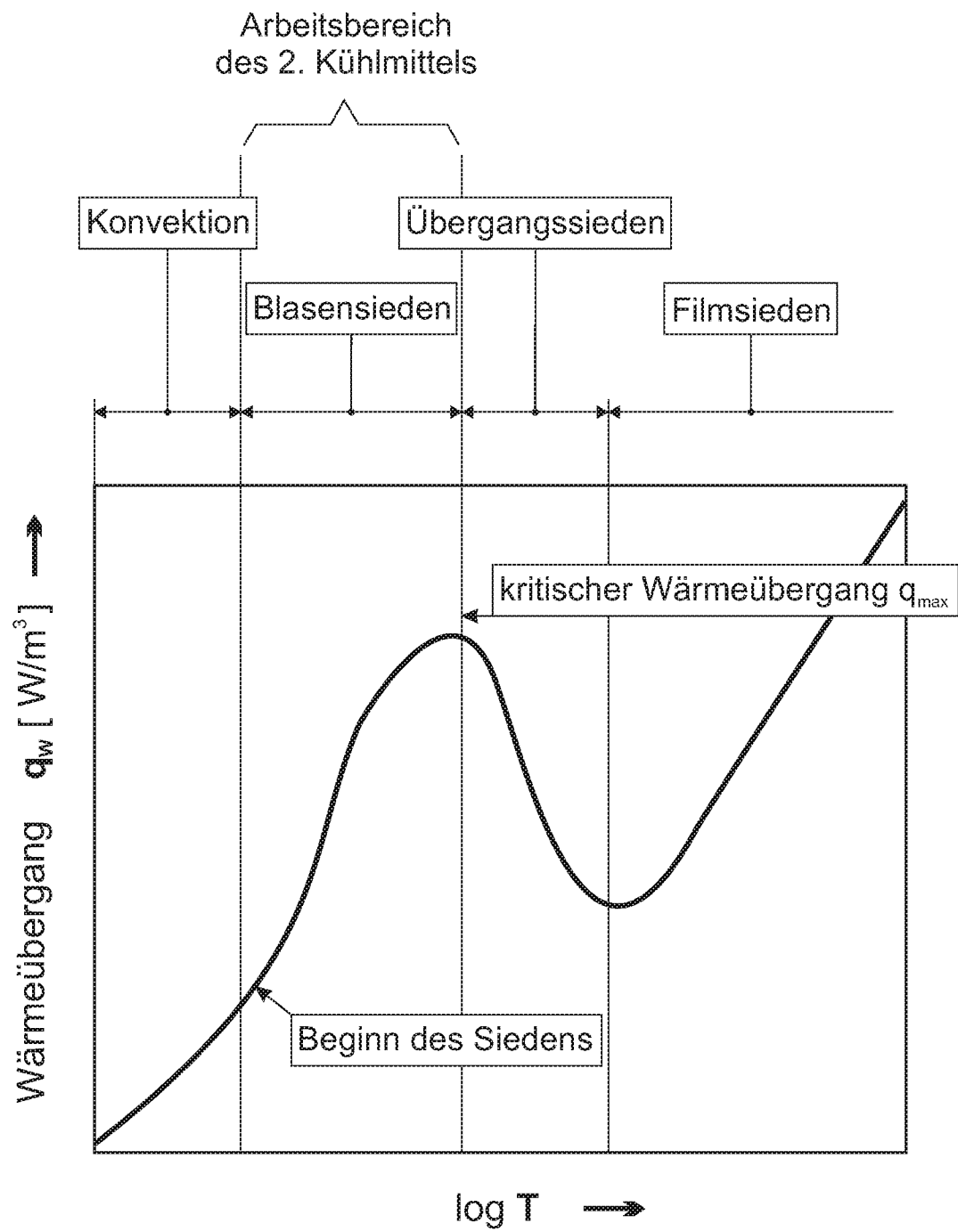
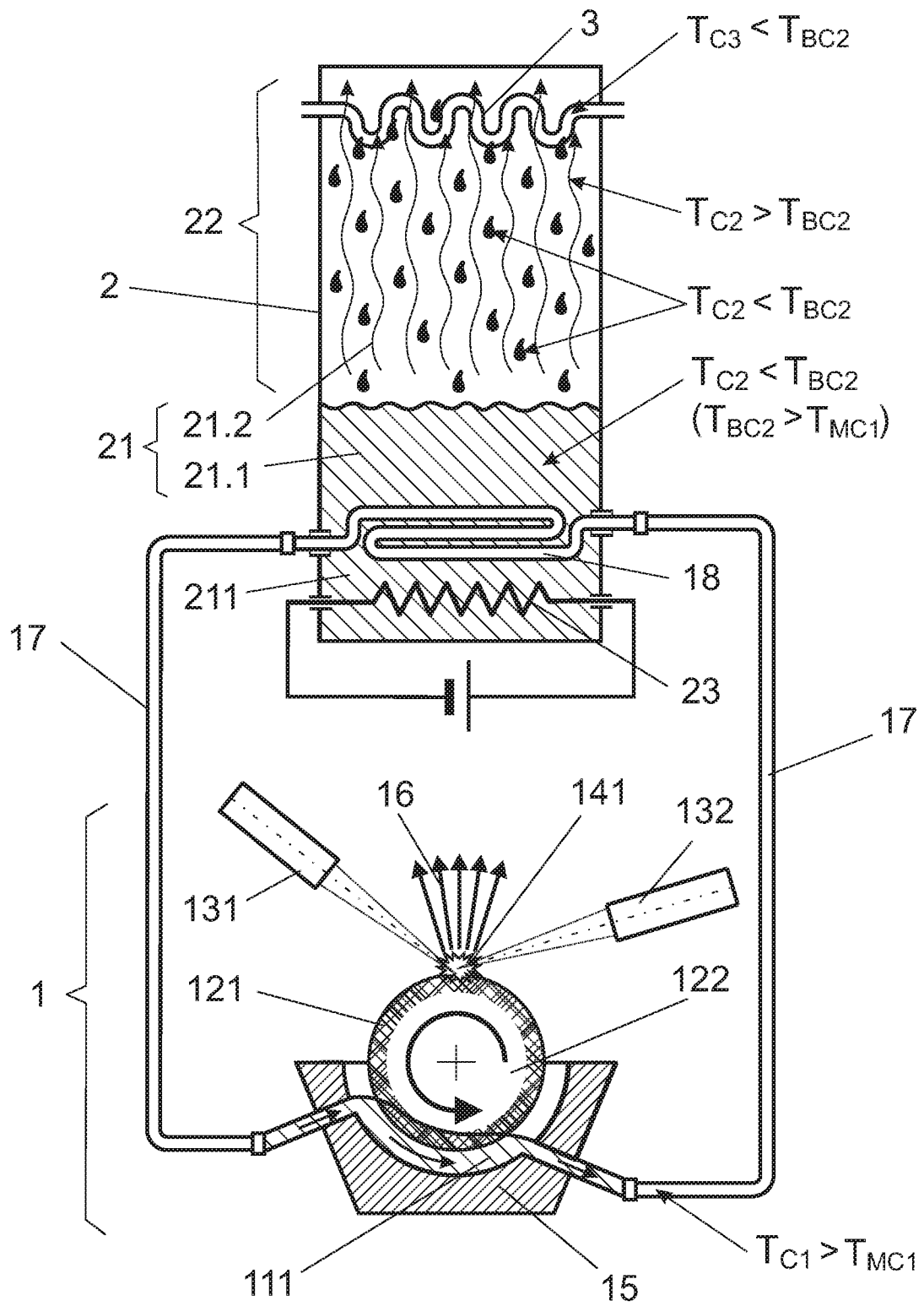


Fig. 1

**Fig. 2**

3/8

**Fig. 3**

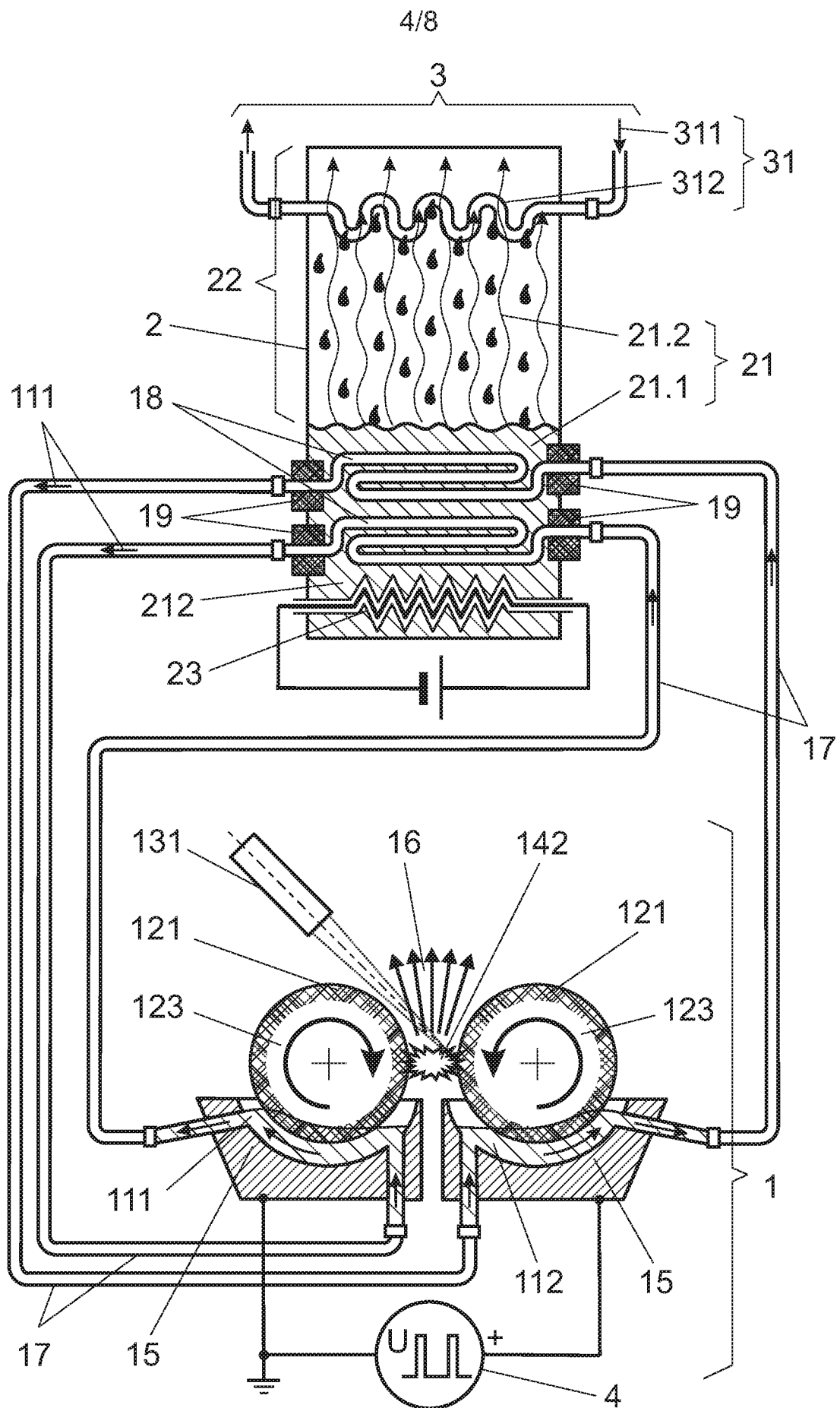
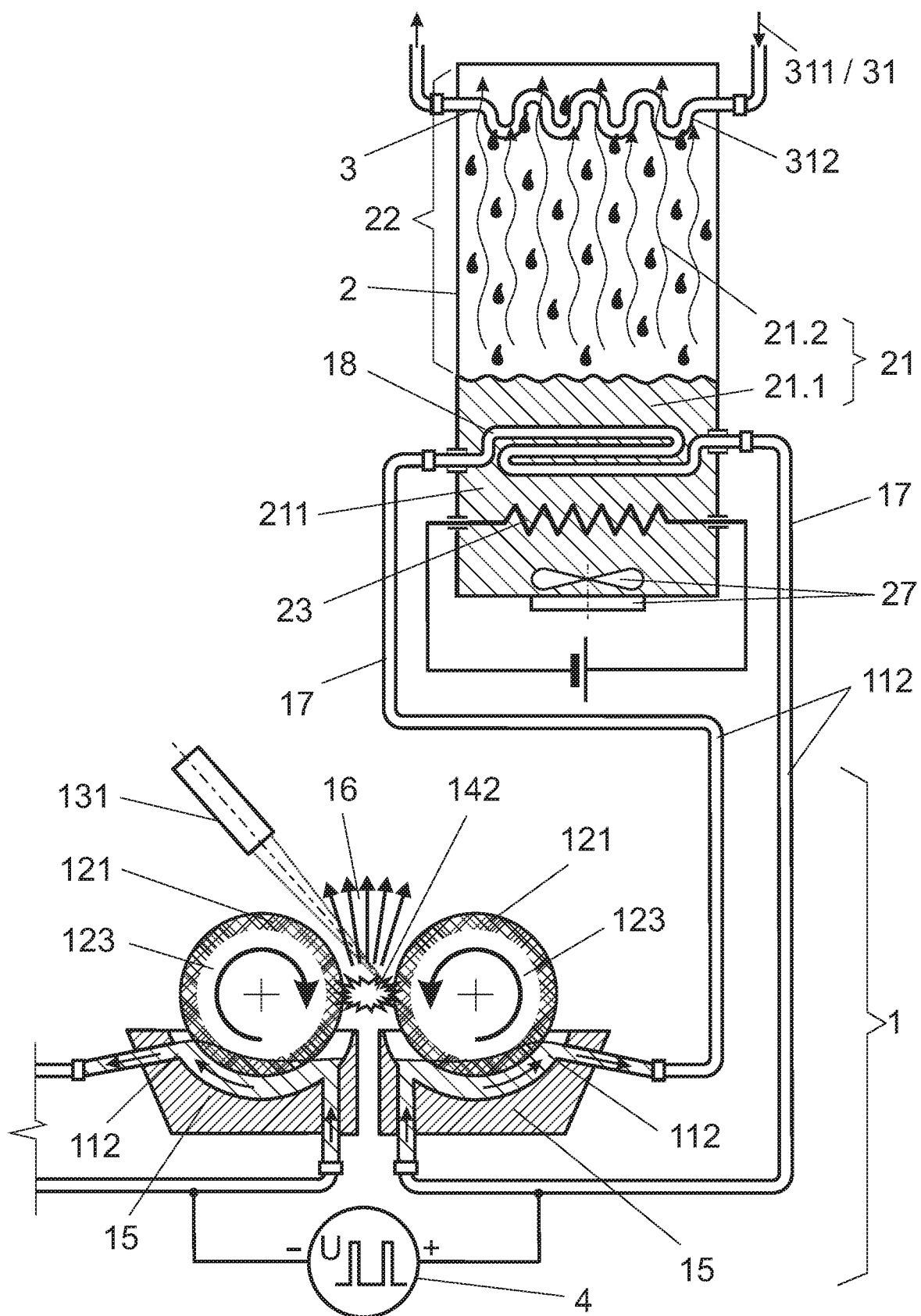
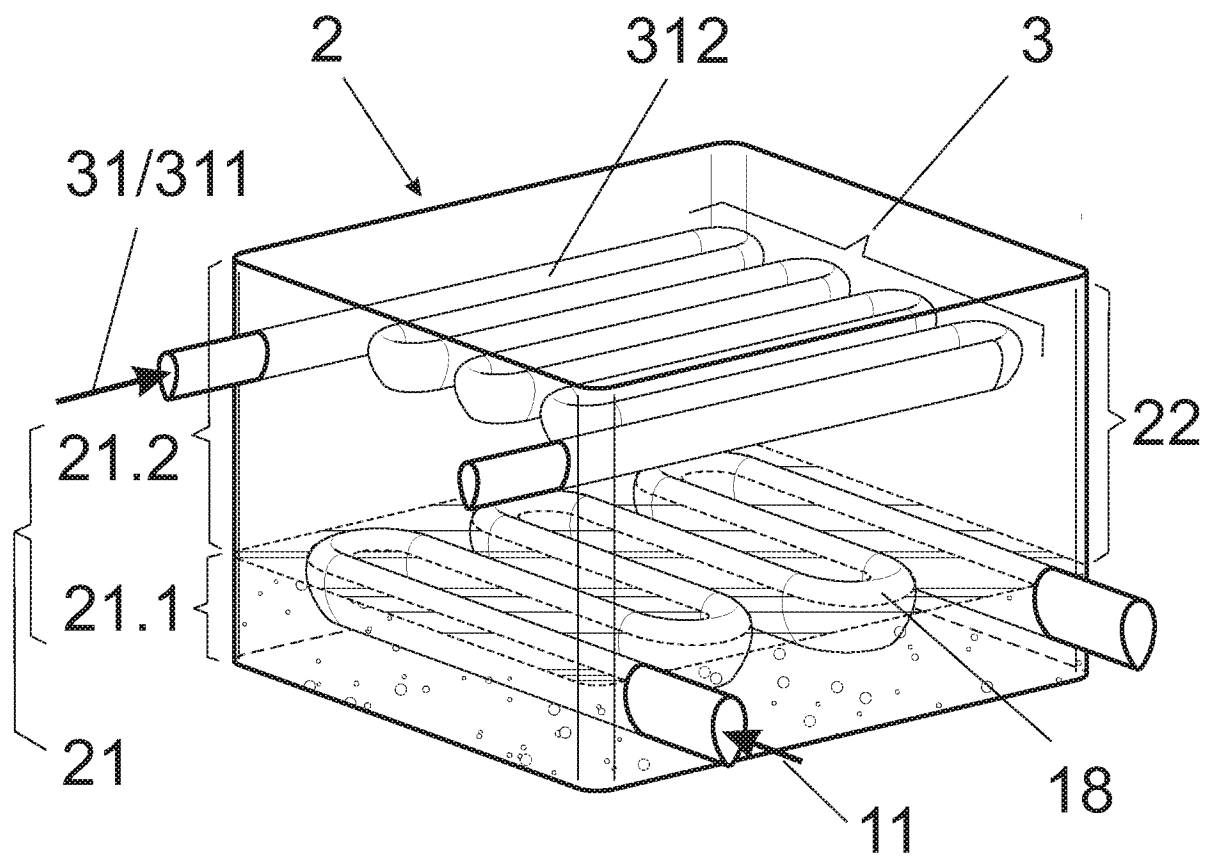
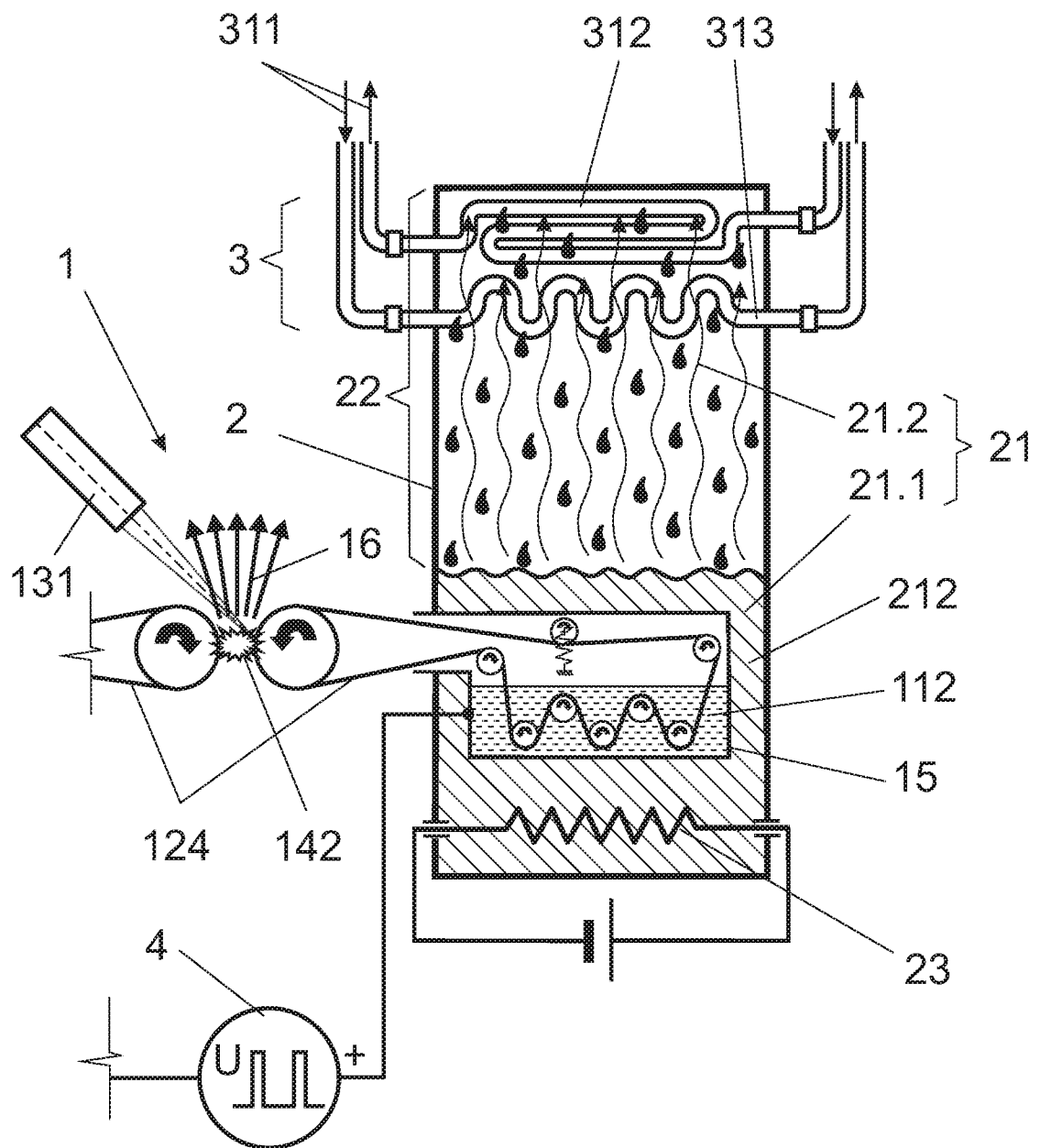
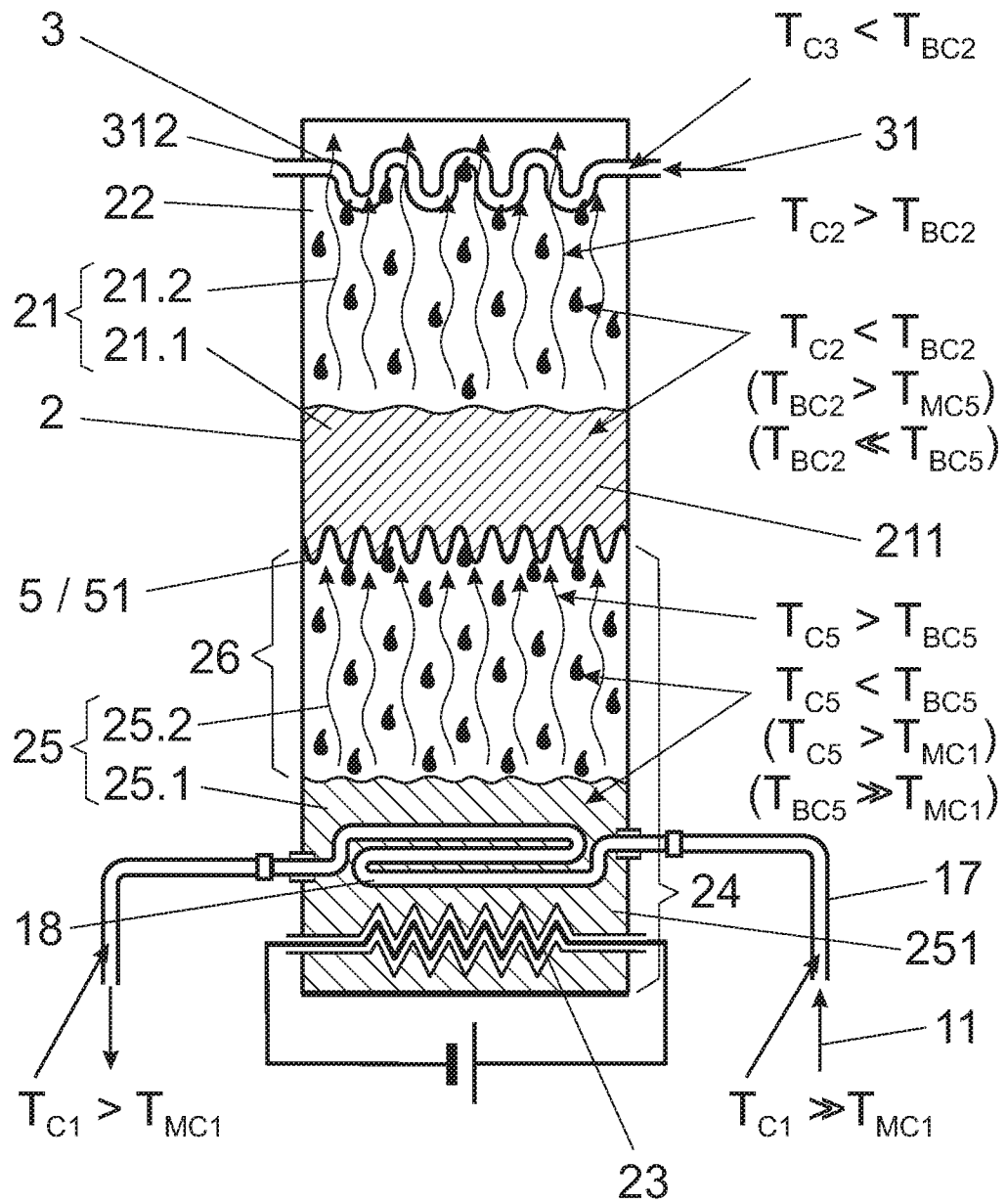


Fig. 4

**Fig. 5**

**Fig. 6**

**Fig. 7**

**Fig. 8**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2014/002055

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H05G2/00
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)
H05G

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 2011/133621 A1 (ZHOKHAVETS VLADZIMIR [DE] ET AL) 9 June 2011 (2011-06-09) cited in the application paragraphs [0002], [0003], [0034] - [0036], [0042], [0046] - [0047]; figures 1,3	1-26
A	JP 2005 049135 A (TOSHIBA CORP) 24 February 2005 (2005-02-24) abstract; figures	1-26
A	WO 2009/077943 A1 (PHILIPS INTELLECTUAL PROPERTY [DE]; KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 25 June 2009 (2009-06-25) page 6, line 22 - page 7, line 13; figure 1	1-26
	----- -/--	

☒ 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

16 January 2015

Date of mailing of the international search report

23/01/2015

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

Krauss, Jan

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2014/002055

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2008/187105 A1 (NEFF JAKOB WILLI [BE] ET AL) 7 August 2008 (2008-08-07) paragraphs [0022] - [0025]; figure 2 -----	1-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2014/002055

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011133621	A1	09-06-2011	AT 551882 T 15-04-2012
		CN 101796892 A	04-08-2010
		EP 2198674 A1	23-06-2010
		JP 2010541123 A	24-12-2010
		KR 20100057898 A	01-06-2010
		TW 200920190 A	01-05-2009
		US 2011133621 A1	09-06-2011
		WO 2009031059 A1	12-03-2009

JP 2005049135	A	24-02-2005	NONE

WO 2009077943	A1	25-06-2009	NONE

US 2008187105	A1	07-08-2008	AT 464776 T 15-04-2010
		CN 101180923 A	14-05-2008
		DE 102005023060 A1	30-11-2006
		EP 1886542 A2	13-02-2008
		JP 4879974 B2	22-02-2012
		JP 2008541472 A	20-11-2008
		KR 20080043740 A	19-05-2008
		US 2008187105 A1	07-08-2008
		WO 2006123270 A2	23-11-2006

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/IB2014/002055

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H05G2/00

ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H05G

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 2011/133621 A1 (ZHOKHAVETS VLADZIMIR [DE] ET AL) 9. Juni 2011 (2011-06-09) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0002], [0003], [0034] - [0036], [0042], [0046] - [0047]; Abbildungen 1,3 -----	1-26
A	JP 2005 049135 A (TOSHIBA CORP) 24. Februar 2005 (2005-02-24) Zusammenfassung; Abbildungen -----	1-26
A	WO 2009/077943 A1 (PHILIPS INTELLECTUAL PROPERTY [DE]; KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL] 25. Juni 2009 (2009-06-25) Seite 6, Zeile 22 - Seite 7, Zeile 13; Abbildung 1 -----	1-26
A	US 2008/187105 A1 (NEFF JAKOB WILLI [BE] ET AL) 7. August 2008 (2008-08-07) Absätze [0022] - [0025]; Abbildung 2 -----	1-26



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

16. Januar 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

23/01/2015

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

Krauss, Jan

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/IB2014/002055

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011133621	A1	09-06-2011	AT 551882 T	15-04-2012
			CN 101796892 A	04-08-2010
			EP 2198674 A1	23-06-2010
			JP 2010541123 A	24-12-2010
			KR 20100057898 A	01-06-2010
			TW 200920190 A	01-05-2009
			US 2011133621 A1	09-06-2011
			WO 2009031059 A1	12-03-2009

JP 2005049135	A	24-02-2005	KEINE	

WO 2009077943	A1	25-06-2009	KEINE	

US 2008187105	A1	07-08-2008	AT 464776 T	15-04-2010
			CN 101180923 A	14-05-2008
			DE 102005023060 A1	30-11-2006
			EP 1886542 A2	13-02-2008
			JP 4879974 B2	22-02-2012
			JP 2008541472 A	20-11-2008
			KR 20080043740 A	19-05-2008
			US 2008187105 A1	07-08-2008
			WO 2006123270 A2	23-11-2006
