



(10) **DE 10 2009 033 501 B4** 2016.07.21

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 033 501.3**

(22) Anmeldetag: **15.07.2009**

(43) Offenlegungstag: **27.01.2011**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.07.2016**

(51) Int Cl.: **C03B 5/02 (2006.01)**
C03B 5/225 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

SCHOTT AG, 55122 Mainz, DE

(74) Vertreter:

**Blumbach Zinngrebe Patent- und Rechtsanwälte,
65187 Wiesbaden, DE**

(72) Erfinder:

**Kolberg, Uwe, Dr., 55124 Mainz, DE; Nüttgens,
Sybill, Dr., 60316 Frankfurt, DE; Groß, Andreas,
55278 Udenheim, DE**

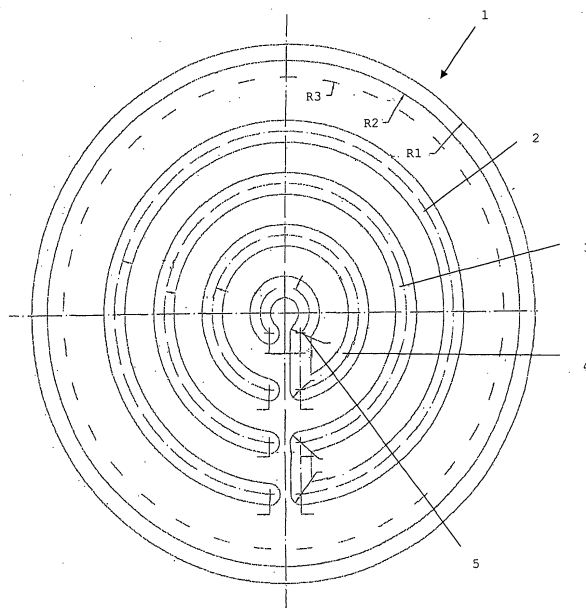
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	41 06 535	A1
DE	41 06 536	A1
DE	41 06 537	A1
DE	102 44 807	A1
DE	10 2006 004 637	A1

**Behrens, Torge; Dissertation 2007, Uni
Hannover**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum kontinuierlichen Schmelzen oder Läutern von Schmelzen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Produkten aus einer Schmelze, wobei das Verfahren wenigstens folgende Verfahrensschritte aufweist:
Zuführen der Schmelzrohstoffe oder einer Vorschmelze in einen Skultiegel,
Erhitzen der Schmelze auf eine vorbestimmte Temperatur in einem Skultiegel mittels eines hochfrequenten Wechselfeldes,
kontinuierliches Abführen der auf die vorbestimmte Temperatur erhitzten Schmelze,
wobei die Wandung des Skultiegels einen elektrisch leitfähigen Induktor und einen Boden aus elektrisch nicht leitfähigem jedoch wärmeleitfähigem Material umfasst oder bildet, wobei die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-3} S/m ist und die Wärmeleitzahl zumindest 20 W/m·K beträgt, wobei es sich um einen nitridhaltigen Werkstoff handelt, der einen Sauerstoffgehalt von weniger als 2 mol% aufweist, und
wobei die Wandung und der Boden gekühlt werden, so dass sich im Inneren des Tiegels eine Skullschicht ausbildet und wobei die Wandung des Skultiegels gleichzeitig die Spule zur Applikation des Hochfrequenzfeldes umfasst, und
wobei der Skultiegel zumindest zwei Monate im Dauerbetrieb betrieben wird und wobei ein kurzzeitig unterbrochener Betrieb noch als Dauerbetrieb erachtet wird, solange der Tiegel mindestens 85% der Zeit innerhalb der Betriebsdauer im Schmelzbetrieb betrieben wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Herstellung, insbesondere von Glas- und Glaskeramikprodukten aus einer Glasschmelze.

[0002] Glasprodukte, wie insbesondere hochreine Gläser und Glaskeramiken, werden im allgemeinen in Schmelzgefäßen aus Edelmetallen, wie Platin oder Platinlegierungen, sowie aus Kieselglas hergestellt. Diese weisen jedoch bekannte Nachteile auf, wie beispielsweise eine Gelbfärbung durch in die Glasschmelze eingebragtes ionisches Platin und/oder Streueffekte an eingebragten Platin-Teilchen sowie Schlieren und andere Inhomogenitäten durch Auflösung des Kieselglas-Tiegelmaterials in der Glasschmelze.

[0003] Außerdem sind Glasschmelzen für hochreine Gläser und Glaskeramiken oft recht aggressiv gegenüber den jeweils verwendeten Tiegelmaterialien. Es kommt folglich zum Verschleiß der Anlagen und zum vorzeitigen Ende der Produktion.

[0004] Aus der DE 102 44 807 A1 ist eine Behebung dieser Nachteile durch Verwendung einer sogenannten Skull-Schmelzanlage bekannt geworden, bestehend aus einer aus wassergekühlten Kupferrohren aufgebauten, mehrwindigen Spule und einem Skulltiegel aus parallel zur Spulenachse palisadenförmig angeordneten Rohren aus Metall (Cu, Al, Ni-Cr-Fe-Legierung oder eventuell Pt). Die Rohre des Skulltiegels müssen einen Mindestabstand aufweisen, um dem angelegten elektrischen Hochfrequenzfeld das Eindringen in das in dem Skulltiegel befindliche flüssige Glas zu ermöglichen und dieses durch direkte Einkopplung unter Erzeugung von Wirbelströmen weiter aufzuheizen. Zwischen gekühltem Tiegel aus Metall und heißem Glas bildet sich eine Kruste aus erstarrtem/kristallisiertem arteigenem Material aus. Diese hat die Funktion des Schutzes des metallischen Tiegels vor korrosivem Glasangriff, des Schutzes des Glases vor dem Eintrag von Verunreinigungen aus dem Metall, bildet einen Auslaufschutz und bewirkt eine Verminderung der Wärmeverluste aus dem Glas an das Kühlmedium.

[0005] Diese Funktionen werden von dem genannten Schmelzverfahren erfüllt. Es lassen sich ferner Glasprodukte mit guter Qualität herstellen. Allerdings weist das Schmelzverfahren noch die nachfolgend dargestellten Nachteile auf.

[0006] Durch die erforderlichen hohen Betriebsspannungen von mehreren 1000 V kommt es insbesondere in staubiger Umgebung immer wieder zu Überschlägen, meist zwischen Spule und Tiegel. Dies kann zu lang andauernden Betriebsunterbrechungen und damit zu hohen Produktionskosten führen.

[0007] Die hohen Spannungen stellen eine potentielle Gefahrenquelle für die die Anlage bedienenden Personen dar.

[0008] Der Bau des Tiegels ist bedingt durch die komplexe Ausführung zeitaufwendig und kostenintensiv.

[0009] Es sind zwei Kühlkreisläufe, nämlich jeweils für Spule und Tiegel, erforderlich. Dies verursacht zusätzliche Kosten.

[0010] Es kommt zur Erzeugung von Blindleistungen von 10 bis 20% der Gesamtleistung, insbesondere durch Spannungsabfall am Tiegel.

[0011] Für das teilkontinuierliche Schmelzen von keramischen Materialien sind in der Literatur Anlagen bekannt, die mit einem Induktortiegel arbeiten, z. B. DE 41 06 537 A1, DE 41 06 536 A1, DE 41 06 535 A1. Diese betreffen Verfahren zum teilkontinuierlichen Schmelzen keramischer Materialien durch induktive Beheizungen in Hochfrequenz- und Mittelfrequenz-Induktionsschmelzöfen, deren Schmelzspule einen Sinterkrustentiegel (Skulltiegel) umhüllt und eine Auslaufvorrichtung enthält. Die Anlage wird in den Schriften beispielhaft zum Schmelzen von Zirkonsand verwendet. Die Schmelztemperaturen liegen bei ca. 2700°C.

[0012] Des Weiteren ist eine Erfindung angegeben, die monoklines Zirkonoxid mit einem SiO₂-Gehalt von 1% verwendet. Das geschmolzene Material wird beim Abstich in ein gekühltes Rinnensystem überführt, das wiederum zum Abschrecken des Schmelzgutes verwendet wird.

[0013] Die in vorstehend angegebenen Schriften beschriebenen Schmelzvorrichtungen können jedoch zum Herstellen von Glas oder Glaskeramiken nicht verwendet werden, da diese beiden Substanzklassen dazu neigen, nur relativ dünne Sinterkrusten auszubilden. Daher wird die sich ausbildende Sinterkruste oder auch so-

genannte Skallschicht das Schmelzvolumen nur in sehr geringem Umfang von der wassergekühlten Spule isolieren. Es kann zu Überschlügen zwischen Spule und Glasvolumen kommen. Des weiteren besteht der Nachteil, dass die dünne Skallschicht dazu führt, dass eine große Menge an Energie aus dem Schmelzvolumen an das Kühlwasser abgegeben wird. Außerdem ändert sich die Viskosität der Glasschmelzen stetig im Gegensatz zu der von keramischen Materialien, die am Schmelzpunkt einen Sprung im Viskositätsverlauf aufweisen. Dies führt oft dazu, dass die Kruste nicht starr ist, sondern weich und deformierbar bleibt. Teilweise bildet sich ein Gemisch von kristallisierten und glasigen Bereichen. Diese Kruste bei Gläsern ist daher mechanisch oft nicht allzu sehr belastbar.

[0014] Bei kleinen Gefäßen, bei welchen der schmelzflüssige Inhalt einen geringen hydrostatischen Druck ausübt, mag dies ausreichend sein. Bei großen Schmelzanlagen mit hohem hydrostatischem Druck kann es dagegen zum Durchbruch mit nachfolgendem Auslaufen des Schmelzgutes kommen.

[0015] Außerdem wird in der Spule, die als Induktor fungiert, und in dem metallischen Boden Energie absorbiert, die dem Schmelzprozess nicht mehr zur Verfügung steht. Um ein Aufheizen mit dem Induktortiegel überhaupt zu ermöglichen, muss ein möglichst effizienter Energieeintrag gewährleistet sein. Es müssen Verluste in metallischen Materialien, die zur Schmelzanlage gehören, möglichst minimiert werden. Gegen die Verwendung von Keramiken in der Schmelzanlage spricht die hohe Korrosivität gegenüber keramischen Materialien, die viele Glas- oder Glaskeramikschmelzen aufweisen. Verwendet man Keramiken als feuerfeste Bauteile für die Schmelzanlage, hat man daher keinen ausreichenden Auslaufschutz. Außerdem entstehen durch die Auflösungsprodukte der keramischen Umhüllungen Schlieren, Blasen, Farbstörungen und andere Fehler im Glas, welche die Qualität des Produktes erheblich beeinträchtigen können.

[0016] Mit dem diskontinuierlichen Schmelzen insbesondere von Glasschmelzen in einem Induktortiegel beschäftigt sich die Dissertation "Prozessorientierte Analyse der induktiven Skull-Melting-Technologie bei Verwendung eines Transistorumrichters" von Torge Behrens. Die hier beschriebenen Tiegel weisen allerdings den Nachteil auf, dass ihre Standzeiten vergleichsweise kurz sind.

[0017] Es stellt sich somit die Aufgabe, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur direkten Beheizung von Glasschmelzen mittels elektromagnetischer Felder zur Verfügung zu stellen, wobei der Schmelz- bzw. Läutervorgang kontinuierlich erfolgt.

[0018] Mit der Erfindung sollen die vorstehend diskutierten Nachteile, wie mangelnde Überschlagsfestigkeit, hohe Energieverluste und mangelnder Auslaufschutz, vermieden und die positiven Effekte wie hohe Reinheit des Glasproduktes und lange Standzeiten des Tiegels beibehalten werden.

[0019] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Glas- oder Glaskeramikprodukten aus einer Glasschmelze, weist folgende Verfahrensschritte auf:

Zuführen der Schmelzrohstoffe oder einer Vorschmelze in einen Induktortiegel,
 Erhitzen der Schmelze auf eine vorbestimmte Temperatur in einem Induktortiegel mittels eines hochfrequenten Wechselfeldes,
 wobei die Wandung des Induktortiegels einen elektrisch leitfähigen Induktor und einen Boden aus elektrisch nicht leitfähigem jedoch wärmeleitfähigem Material umfasst, wobei die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-3} S/m, bevorzugt kleiner als 10^{-8} S/m ist, kontinuierliches Abführen der auf die vorbestimmte Temperatur erhitzten Schmelze,
 wobei die Wandung und der Boden gekühlt werden, so dass sich im Inneren des Tiegels eine Skallschicht ausbildet, und
 wobei die Wandung des Induktortiegels die Spule zur Applikation des Hochfrequenzfeldes umfasst oder bildet, und
 wobei der Tiegel im Dauerbetrieb eine Standzeit von mindestens zwei Monaten aufweist, beziehungsweise zumindest zwei Monate im Dauerbetrieb betrieben wird. Es sind mit dem erfindungsgemäßen Tiegel auch noch wesentlich längere Standzeiten möglich. Vorzugsweise beträgt die Betriebsdauer zumindest ein halbes Jahr. Auch ein kurzzeitig unterbrochener Betrieb wird dabei noch als Dauerbetrieb erachtet, solange der Tiegel mindestens 85% der Zeit innerhalb der Betriebsdauer im Schmelzbetrieb betrieben wird.

[0020] Das Erhitzen der Schmelze erfolgt vorzugsweise mittels elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich von 70 kHz bis 2 MHz. Es hat sich dabei überraschend gezeigt, dass für Gläser auch ein Betrieb mit Frequenzen unter 100 kHz, sogar unter 90 kHz ermöglicht wird. Dies ist unter anderem hinsichtlich der verringerten elektromagnetischen Abstrahlung der Anlage von Vorteil.

[0021] Der Induktor, beziehungsweise die Tiegelwandung kann dabei insbesondere einwindig ausgestaltet sein. Dies reduziert die Gefahr von Überschlügen deutlich, da hier nur im Bereich des Induktorspalts höhere Potentialdifferenzen auftreten. Zudem sinkt gegenüber mehrwindigen Tiegeln die Betriebsspannung, was die Arbeitssicherheit erhöht.

[0022] Besonders vorzugsweise wird das Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Glasprodukten aus einer Glasschmelze eingesetzt. Auch für die kontinuierliche Herstellung und/oder das kontinuierliche Läutern von Gläsern für Glaskeramiken hat sich die Vorrichtung und das Verfahren als geeignet erwiesen. Unter einer Glaskeramik wird dabei im Sinne der Erfindung insbesondere ein Material mit Kristalliten und einer Restglasphase verstanden, wobei die Restglasphase einen Anteil von zumindest 0,01, vorzugsweise 0,1 Volumenprozent aufweist.

[0023] Eine entsprechende Vorrichtung zur Herstellung von Glas- oder Glaskeramikprodukten aus einer Glasschmelze weist wenigstens folgende Merkmale auf:

- Mittel zum Zuführen der Schmelzrohstoffe oder zum Zuführen einer Vorschmelze,
- einen Induktortiegel zum Erhitzen der Schmelze auf eine vorbestimmte Temperatur,
- wobei die Wandung des Induktortiegels einen vorzugsweise einwindigen, elektrisch leitfähigen Induktor umfasst und der Boden des Induktortiegels aus elektrisch nicht leitfähigem, jedoch wärmeleitfähigem Material besteht,
- Mittel zum Kühlen der Wandung und des Bodens,
- Mittel zum kontinuierlichen Abführen der auf die vorbestimmte Temperatur erhitzten Schmelze.

[0024] Die Vorrichtung kann als Schmelz- und/oder Läuteraggregat ausgebildet sein.

[0025] Als wärmeleitfähige Materialien für den Boden werden im Sinne der Erfindung allgemein solche Materialien angesehen, die eine Wärmeleitfähigkeit von zumindest 20 W/m·K aufweisen.

[0026] Die Wärmeleitfähigkeit des Bodenmaterials ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorzugsweise größer als 85 W/m·K, insbesondere größer als 150 W/m·K.

[0027] Die elektrische Leitfähigkeit des Bodenmaterials ist bevorzugt kleiner als 10^{-3} S/m, besonders bevorzugt kleiner als 10^{-8} S/m, bei 20°C.

[0028] Als geeignetes Bodenmaterial haben sich nitridhaltige Werkstoffe, vorzugsweise Nitridkeramiken, insbesondere auch Keramiken aus Aluminiumnitrid erwiesen. Weitere geeignete Stoffe sind unter anderem Titanitrid, Bornitrid und Siliziumnitrid. Titanitrid weist zwar eine gute Wärmeleitfähigkeit auf, ist aber in reiner Form metallisch. Um eine zu hohe Stromleitung zu vermeiden, kann dieses Material beispielsweise in Mischung, oder als Mischverbindung mit einem anderen Material verwendet werden. Allgemein können für das Bodenelement die vorgenannten Materialien miteinander oder mit weiteren Materialien in Mischung oder Mischverbindung vorliegen. Auch ist daran gedacht, diese Materialien als Beschichtungen im Bereich des Tiegelbodens oder der Tiegelwandung einzusetzen.

[0029] Nitridkeramiken haben generell den Vorteil, dass sie vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeiten aufweisen und darüber hinaus auch eine vergleichsweise niedrige Oberflächenenergie besitzen. Die letztere führt dazu, dass die Schmelze sich mit dem Bodenmaterial nicht oder nur in geringem Maße chemisch verbindet. Das hat den Vorteil, dass das sich bildende Skullmaterial oder die Kruste sehr einfach entfernt werden kann. Ist der Tiegelboden beispielsweise abnehmbar gestaltet, kann das Skullmaterial einfach herunter genommen werden. Das eigentliche Bodenmaterial wird dabei nicht wie allgemein üblich durch mechanische oder chemische Behandlung erodiert. Dieser Materialvorteil kommt besonders dann zum Tragen, wenn der Tiegel für das Erschmelzen von verschiedenen Materialien, beispielsweise von verschiedenen hochreinen Gläsern unterschiedlicher Zusammensetzung, verwendet werden soll. Das "Säubern" des Tiegel und die Erschmelzung einer neuen Zusammensetzung kann dann innerhalb sehr kurzer Zeit erfolgen.

[0030] Besonders günstig hinsichtlich hoher Wärmeleitfähigkeit und niedriger elektrischer Wärmeleitfähigkeit ist Aluminiumnitrid, welches als Isolator material eine außerordentlich hohe Wärmeleitfähigkeit mit hoher Temperaturbeständigkeit und hoher elektrischer Isolationsfähigkeit aufweist. Dieses Material kann gegebenenfalls auch mit anderen Materialien kombiniert werden, um die Eigenschaften weiter zu verbessern. Möglich ist beispielsweise eine Beschichtung oder Beimengung anderer Materialien, um etwa die chemische Resistenz zu verbessern.

[0031] Eine weitere deutliche Verbesserung ergibt sich bei der Verwendung einer bornitrid-haltigen Aluminiumnitridkeramik. Ein solcher Werkstoff weist zwar gegenüber einer reinen Aluminiumnitrid-Keramik eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit auf, allerdings ergeben sich erhebliche Vorzüge. Im allgemeinen können diese Vorzüge erreicht werden, wenn die Wärmeleitfähigkeit immerhin noch mindestens 85 W/m·K beträgt. So erweist sich diese Mischkeramik als wesentlich leichter bearbeitbar. Noch ein Vorzug ist die niedrigere Dielektrizitätskonstante. Für reines Aluminiumnitrid wird im allgemeinen ein Wert der Dielektrizitätskonstante bei 1 Mhz von etwa 9 angegeben.

[0032] Bei einer bornitrid-haltigen Aluminiumnitridkeramik mit der oben angegebenen Mindest-Wärmeleitfähigkeit kann dieser Wert auf kleiner als 8,0 abgesenkt werden. Allgemein erweisen sich Materialien mit solchen Dielektrizitätskonstanten als günstig, um dielektrische Verluste im Bodenteil zu minimieren.

[0033] Vorteilhafter Weise werden Nitridkeramiken mit geringen Sauerstoffgehalten verwendet, weil die Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise von Aluminiumnitrid, stark vom Sauerstoffgehalt abhängig ist. Mit zunehmendem Sauerstoffgehalt nimmt die Wärmeleitfähigkeit asymptotisch ab. Aus diesem Grund wird Aluminiumnitrid-Keramik mit einem Sauerstoffgehalt von kleiner 2 Mol% bevorzugt als Bodenmaterial verwendet.

[0034] Aluminiumnitrid ist darüber hinaus vergleichsweise leicht oxidierbar, wobei die Oxidationsgeschwindigkeit linear mit der Temperatur zunimmt. Eine ausreichende Kühlung des Bodenmaterials ist daher wichtig, um die Oxidation des Bodenmaterials zum einen durch Luftsauerstoff, v. a. aber durch Sauerstoff aus der Schmelze zu vermeiden. Setzt dieser Vorgang erst einmal ein, führt er zu einem sich selbstverstärkenden Prozess: erhöhte Temperatur führt zu verstärkter Oxidation, verstärkte Oxidation erniedrigt die Wärmeleitfähigkeit des Materials und führt so wiederum zu erhöhten Temperaturen. In besonders bevorzugter Weiterbildung der Erfindung wird der Boden so gekühlt, dass dessen Oberflächentemperatur an der zur Schmelze gewandten Seite, beziehungsweise dessen Innenseite geringer als 750°C, vorzugsweise geringer als 500°C ist.

[0035] Die erfindungsgemäß bevorzugten niedrigen Sauerstoffgehalte und damit die Vermeidung des oben beschriebenen Selbstverstärkungsprozesses erhöhen die Standzeiten des Tiegels.

[0036] Übersteigen die Abmessungen des Tiegels eine gewisse Größe, so tritt das Problem auf, dass für den Tiegelboden Nitridkeramikelemente in ausreichender Größe schwierig zu fertigen oder auch gar nicht auf dem Markt erhältlich sind.

[0037] Daher ist es für den Fall großer Tiegel vorzugsweise vorgesehen, dass der Boden des Tiegels mehrere Bauteile, vorzugsweise aus einer Nitridkeramik, umfasst. Der Tiegelboden wird also aus zumindest zwei Bauteilen mittels Parkettierung zusammengesetzt. Hierbei können die einzelnen Bauteile beispielsweise ineinander greifende Elemente aufweisen, mittels derer ein Zusammenfügen möglich ist. Diese Elemente können z. B. Nuten und Nasen sein, die zum einen der Verbindung der Bauteile dienen und zum anderen verhindern, dass sich die Bauteile gegeneinander verschieben.

[0038] Auch die Wandung des Tiegels kann beschichtet sein. Unter anderem kann eine Aluminiumoxid-Beschichtung hier die Eigenschaften des Tiegels weiter verbessern. Aluminiumoxid ist ebenfalls hoch elektrisch isolierend. Diese oder eine andere isolierende Beschichtung kann beispielsweise im Bereich des Induktorspalts auf den Induktor aufgebracht werden und hier Kurzschlüsse vermeiden. Eine weitere Möglichkeit ist auch eine Kunststoffbeschichtung, um die elektrische Isolation zur Schmelze hin zu verbessern.

[0039] Insbesondere eignet sich hier Teflon. Allgemein ist es dabei günstig, wenn das Metall, auf dem die Beschichtung aufgebracht wird, eine thermische Leitfähigkeit von mindestens 50 W/m·K aufweist. In Frage kommen dazu insbesondere Kupfer, Aluminium, Silber, eventuell noch Messing. Materialien wie Inconel, eine Nickel-basierte Stahllegierung haben eine zu schlechte Wärmeleitfähigkeit. Es zeigt sich hier, dass der Energieabfluss in das Kühlwasser zu gering wird und die Teflonschicht sich im Laufe des Betriebs nach einigen hundert Stunden ablöst. Wird eine Teflonbeschichtung verwendet, ist es weiterhin günstig, die am Tiegel vorhandenen Verbindungsstellen entweder zu schweißen, oder mit Hartlot herzustellen. Eine Weichlot-Verbindung ist jedenfalls nachteilig. Da die Temperaturbelastung beim Aufbringen der Teflonschicht etwa 400°C beträgt, schmelzen übliche Weichlote auf und tropfen weg.

[0040] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeigt einen für Skull-Tiegel außerordentlich guten Wirkungsgrad. Es konnte verifiziert werden, dass ein Wirkungsgrad erzielbar ist, bei welchem zumindest 40% der elektrischen Eingangsleistung als Wärmeleistung in die Schmelze eingebracht werden.

[0041] Im Betrieb konnten Temperaturen über 2500°C und sogar noch deutlich über 3000°C erreicht werden. Dies erlaubt unter anderem ein schnelles Läutern von Gläsern und/oder Glaskeramiken, was für einen kontinuierlichen Herstellungs- und/oder Läuterungsprozess vorteilhaft ist bzw. einen solchen überhaupt erst ermöglicht. Das Verfahren erlaubt damit auch die Herstellung von Gläsern und Glaskeramiken, die bisher noch nicht oder nur schwer herstellbar waren. Gedacht ist unter anderem an höchstschmelzende Gläser.

[0042] Da in Bezug auf das erfindungsgemäße Verfahren mittels der Vorrichtung eine sehr energieeffiziente, schnelle Beheizung erzielt wird, sind neue Prozessabläufe möglich. So können steilere Temperaturprofile, ein besseres Läutern und andere Oxidationszustände der Bestandteile von Gläsern oder Keramiken erzielt werden.

[0043] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist für einen kontinuierlichen Betrieb ausgelegt. Unter einem kontinuierlichen Betrieb wird eine Betriebsweise verstanden, bei welcher kontinuierlich erschmolzenes Material abgeführt wird. Die Zuführung des Einschmelzguts kann dabei ebenfalls kontinuierlich oder portionsweise erfolgen.

[0044] Das Abführen der Schmelze bei einem kontinuierlichen Betrieb kann dabei kontinuierlich durch ein Keramik- oder Edelmetallrohr oder auch durch eine Rinne aus diesen Materialien erfolgen, welches bzw. welche am Boden des Tiegels angeschlossen ist bzw. sind. Alternativ oder zusätzlich kann die Schmelze auch kontinuierlich durch die elektrisch leitende Wandung des Induktortiegels hindurch abgeführt werden. Ebenso bietet sich auch eine Zuführung der Schmelze durch die elektrisch leitende Wandung des Induktortiegels hindurch an, wenn die erfindungsgemäße Vorrichtung als Aggregat zum kontinuierlichen Läutern von Gläsern und/oder Glaskeramiken eingesetzt wird.

[0045] Zwischen der eigentlichen Zu- oder Ableitung der Schmelze kann dabei ein Isolationselement oder Verbindungselement vorgesehen sein, das zum einen die Induktorwand elektrisch von der eigentlichen Zu- oder Ableitung isoliert und das zum anderen gegen den korrosiven Angriff der Schmelze unempfindlich ist. Die Erfindung betrifft daher allgemein, unabhängig von der Bauweise des Skulttiegels, insbesondere auch unabhängig davon, ob ein Boden aus Nitridkeramik vorgesehen ist, eine Vorrichtung zum Zu- oder Ableiten von Schmelze in oder aus einem Tiegel, wobei ein Verbindungselement aus einem Material mit guter Wärmeleitfähigkeit und schlechter elektrischer Leitfähigkeit, also beispielsweise aus einer Nitridkeramik, durch den Boden oder die Wand des Tiegels geführt wird.

[0046] Unabhängig von der Anordnung des Abflusses- und/oder im Falle eines Läuteraggregats des Zuflusses- für die Schmelze ist es besonders bevorzugt, wenn der Abfluss oder der Zufluss zumindest in einem ersten, in den Tiegel mündenden Abschnitt als keramisches Element mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit und einer geringen elektrischen Leitfähigkeit ausgeführt ist. Unter geringer elektrischer Leitfähigkeit wird ein Wert von kleiner als 10^{-3} S/m, bevorzugt kleiner als 10^{-8} S/m verstanden; unter guter Wärmeleitfähigkeit wird ein Wert von größer als 20 W/m·K, bevorzugt größer als 85 W/m·K und insbesondere bevorzugt größer als 150 W/m·K verstanden. Besonders bevorzugt kann ein solches Bauteil aus einer aluminiumnitrid-haltigen Keramik bestehen. Auf diese Weise wird eine sehr hohe Temperaturbeständigkeit mit einer möglichst geringen Beeinflussung durch den Hochfrequenzstrom, welcher den Induktortiegel durchströmt, ermöglicht.

[0047] Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Verbindungselement gekühlt wird. Dies kann mittels eines eigenen Kühlkreislaufs geschehen; das Verbindungselement kann vorteilhafter Weise aber auch an den Kühlkreislauf des Tiegels angeschlossen sein.

[0048] Gemäß einer weiteren Variante der Erfindung reicht die Kühlung des Verbindungselements, das ja erfindungsgemäß eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist, aus, um ein Edelmetallrohr oder eine -rinne zu kühlen, die durch das Verbindungselement in die Schmelze ragt. Dieses Rohr oder diese Rinne muss dann vorteilhafter Weise in diesem Bereich nicht mehr eigens gekühlt werden.

[0049] An dieses Isolationselement oder Verbindungselement kann sich ein ebenfalls schmelzeführendes Edelmetall-Element anschließen. Beide Elemente gemeinsam können besonders vorteilhaft als Zufluss oder Abfluss, insbesondere auch als Konditionierstrecke eingesetzt werden. Im Keramik-Element wird dabei die Schmelze vorzugsweise auf eine Temperatur heruntergekühlt, welche das Führen der Schmelze im Edelmetall-Element gestattet. Beide Elemente können unabhängig voneinander als Rinne oder Röhre ausgebildet sein. Diese Konditionierstrecke gestattet in einfacher Weise die Verbindung eines Skult-Tiegels mit sehr hohen Schmelztemperaturen mit weiteren Vorrichtungen zur Glasprodukt-Herstellung, wie beispielsweise Einrichtungen zur Glasformung. Zum Beispiel könnte sich an die Konditionierstrecke eine Walzvorrichtung anschließen.

Um die Schmelze zu konditionieren, können sowohl zumindest eine Heiz-, als auch zumindest eine Kühleinrichtung vorgesehen sein. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit und elektrischen Isolation der Keramik gestattet diese sowohl ein Heizen, auch induktives Heizen, als auch eine Kühlung der Schmelze.

[0050] Es ist klar, dass ein derartiger Zufluss oder Abfluss, insbesondere in Form einer Konditionierstrecke auch in Verbindung mit Schmelz- oder Läuteraggregaten eingesetzt werden kann, welche sich von dem erfindungsgemäßen Induktortiegel unterscheiden. Beispielsweise kann diese Konditionierstrecke auch an herkömmliche Skull-Tiegel mit separater Spule angeschlossen werden.

[0051] Daher liegt es im Rahmen der Erfindung, auch allgemein einen Zufluss oder einen Abfluss oder insbesondere eine Konditionierstrecke für das Konditionieren von Glas- und/oder Glaskeramikschmelzen anzugeben, welche ein erstes schmelzeführendes Element und ein daran anschließendes zweites schmelzeführendes Element aufweist, wobei das erste schmelzeführende Element ein Keramikrohr oder eine Keramikrinne ist, deren Keramik Aluminiumnitrid enthält, und wobei das zweite schmelzeführende Element ein Edelmetallrohr oder eine Edelmetallrinne ist. Für beide Elemente können Heiz- oder Kühleinrichtungen vorgesehen sein. Beispielsweise kann die Schmelze insgesamt beim Durchlaufen der Konditionierstrecke gekühlt werden, aber am Edelmetall-Element abschließend eine Aufheizung erfolgen, um den Temperaturgradienten im Querschnitt zur Mitte der Schmelze hin zu verkleinern und damit eine homogenere Temperaturverteilung zu erhalten. Wird ein Skulltiegel, wie insbesondere auch der erfindungsgemäße Induktortiegel verwendet, wird die Konditionierstrecke vorzugsweise so aufgebaut, dass das Keramikelement am Skulltiegel angeschlossen ist und das Edelmetall-Element sich daran anschließt. Diese Konditionierstrecke kann auch für die Zuführung von Schmelze, etwa bei einem kontinuierlichen Läuteraggregat eingesetzt werden. Auch hier bietet es sich an, das Keramikelement am Tiegel anzuschließen. In diesem Fall durchquert die Schmelze zuerst das Edelmetall-Element und anschließend das Keramikelement.

[0052] Auch für das Keramikelement eignet sich ganz besonders eine bornitrid-haltige Aluminiumnitridkeramik. Für das Edelmetall-Element eignen sich die auf dem Gebiet der Glasschmelztechnologie gängigen Metalle, wie Platin und Platinlegierungen oder Iridium und Iridiumlegierungen.

[0053] Da, wie bereits eingangs erwähnt, die erfindungsgemäße Vorrichtung und das damit ausführbare Verfahren auch für solche Materialien geeignet sind, die nur eine dünne Skull-Schicht ausbilden, ergibt sich eine besonders vorteilhafte Anwendung auch für sogenannte kurze Gläser. Kurze Gläser sind solche Gläser, die einen steilen Viskositätsverlauf aufweisen. Insbesondere ist dabei das Verfahren zum Schmelzen und/oder Läutern von solchen "kurzen" Gläsern geeignet, bei denen zwischen den Viskositätswerten $10^{7,6}$ dPa·s und 10^3 dPa·s ein Temperaturintervall von höchstens 500°C liegt. Ein steiler Viskositätsverlauf wird oft bei Boratgläsern mit hohem Boratgehalt beobachtet. Hier wird ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Schmelz- und/oder Läuterverfahrens erzielt. Zunächst einmal sind die Gläser chemisch sehr aggressiv. Aufgrund des nichtleitenden Bodens in Verbindung mit dem Prinzip des Induktortiegels wird eine sehr homogene Feldverteilung erreicht. Gerade bei kurzen Gläsern, wie auch bei nicht-glasigen, bei definierter Temperatur schmelzenden Werkstoffen führt die Homogenität des Feldes zu einer entsprechend homogenen Temperaturverteilung und damit zu einer Ausbildung einer gleichmäßigeren Skull-Schicht. Damit wird ein Kontakt der Schmelze mit dem Boden und/oder der Wandung trotz einer nur dünnen Skullschicht wirksam vermieden. Inhomogenitäten der Skullschicht-Dicke können ansonsten zu schneller Korrosion oder sogar zu einem Durchbrechen der Schmelze führen. Dies gilt um so mehr bei hoch-borsäurehaltigen Werkstoffen, die eine hohe chemische Aggressivität aufweisen.

[0054] Bei hoch borsäurehaltigen Gläsern kommt hinzu, dass diese oft hohe Abbé-Zahlen aufweisen und daher gute optische Gläser ergeben. Gerade bei solchen Gläsern ist aber eine hohe Reinheit wünschenswert. Auch diese wird durch die besonders gleichmäßige Skull-Schicht in der erfindungsgemäßen Vorrichtung gewährleistet, da ein Kontakt mit den Wandungsmaterialien vermieden werden kann.

[0055] Nicht alle borathaltigen Gläser sind jedoch für direkte induktive Beheizung geeignet, da einige Gläser nicht hinreichend an das Feld ankoppeln. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Gläser nur einen geringen Alkali-Gehalt aufweisen. Letzterer ist wünschenswert, da Alkalioxide die ohnehin tendenziell schlechtere chemische Beständigkeit hoch borsäurehaltiger Gläser weiter herabsetzen. Auf der anderen Seite erhöhen Alkalioxide die Leitfähigkeit der Schmelze erheblich, was die Ankopplung an das elektromagnetische Feld bei induktiver Beheizung verbessert.

[0056] Als geeignet erweisen sich aber borathaltige Gläser, welche als Bestandteil zumindest ein Metalloxid, dessen Metallionen zwei- oder höherwertig sind, mit einem Stoffmengenanteil von zumindest 25 mol% aufwei-

sen, und wobei das Verhältnis der molaren Stoffmengen von Siliziumdioxid zu Borat im Schmelzglas kleiner oder gleich 0,5 ist. Dabei kann der Stoffmengenanteil alkalihaltiger Verbindungen im Schmelzglas kleiner als 2%, bevorzugt kleiner als 0,5% sein. Diese Gläser koppeln also unabhängig vom Alkaligehalt an das Wechselfeld an.

[0057] Geeignet sind hierbei besonders borathaltige, alkaliarme Werkstoffe, wie insbesondere hochborsäurehaltige Borosilikatgläser oder Boratgläser, welche folgende Zusammensetzung aufweisen:

B_2O_3	zu 15 bis 75 mol%,
SiO_2	zu 0 bis 40 mol%,
Al_2O_3 , Ga_2O_3 , In_2O_3	zu 0 bis 25 mol%,
$\Sigma M(II)O$, $M_2(III)O_3$	zu 15 bis 85 mol%,
$\Sigma M(IV)O_2$, $M_2(V)O_5$, $M(VI)O_3$	0 zu 20 mol%, und
$\Sigma M(I)_2O$	zu weniger als 0,50 mol%
vorhanden sind, und wobei	
$X(B_2O_3)$	> 0,50 ist,
mit	
$X(B_2O_3) = B_2O_3 / (B_2O_3 + SiO_2)$,	
$M(I) = Li, Na, K, Rb, Cs$,	
$M(II) = Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Pb, Cu$,	
$M(III) = Sc, Y, {}^{57}La-{}^{71}Lu, Bi$,	
$M(IV) = Ti, Zr, Hf$,	
$M(V) = Nb, Ta$,	
$M(VI) = Mo, W$.	

[0058] Mit dem Summenzeichen "Σ" wird dabei die Summe aller nach dem Summenzeichen aufgelisteten Stoffmengenanteile bezeichnet. Die Prozentangaben sind Stoffmengenanteile in mol%. $X(B_2O_3) = B_2O_3 / (B_2O_3 + SiO_2)$ bezeichnet weiterhin den Molenbruch der Stoffmengenanteile der Netzwurkbildner B_2O_3 zu SiO_2 .

[0059] Innerhalb dieses Zusammensetzungsbereiches wird insbesondere zur Herstellung glasartiger Werkstoffe, wie hoch borsäurehaltigen Borosilikatgläsern oder Boratgläsern, dabei die Zusammensetzung der Schmelze vorteilhaft so gewählt, dass der Stoffmengenanteil von B_2O_3 15 bis 75 mol% beträgt und der Molenbruch $X(B_2O_3) > 0,52$ ist. Besonders bevorzugt wird für die Zusammensetzung des Schmelzglas der Anteil von B_2O_3 im Bereich zwischen 20 bis 70 mol%, der Anteil von $\Sigma M(II)O$, $M_2(III)O_3$, also der Summe der Stoffmengenanteile von Oxiden mit zwei- und dreiwertigen Metallionen im Bereich zwischen 15 bis 80 mol%, und $X(B_2O_3) > 0,55$ gewählt.

[0060] Innerhalb der oben angegebenen Bereiche von Zusammensetzungen des borhaltigen Schmelzglas ist weiterhin ein Zusammensetzungsbereich für die optischen Eigenschaften der Gläser besonders vorteilhaft, bei welchem im Schmelzglas der Anteil von

B_2O_3	28 bis 70 mol%, der Anteil von
$B_2O_3 + SiO_2$	50 bis 73 mol%, der Anteil von
Al_2O_3 , Ga_2O_3 , In_2O_3	0 bis 10 mol% und der Anteil von
$\Sigma M(II)O$, $M_2(III)O_3$	27 bis 50 mol% beträgt, und
$X(B_2O_3)$	> 0,55 ist.

[0061] Besonders bevorzugt wird dabei zur Herstellung von hochborsäurehaltigen Borosilikatgläsern und Boratgläsern eine Zusammensetzung des Schmelzglas gewählt, bei welcher:

B_2O_3	zu 36 bis 66 mol%,
SiO_2	zu 0–40 mol%,
$B_2O_3 + SiO_2$	zu 55–68 mol%,
$Al_2O_3, Ga_2O_3, In_2O_3$	zu 0–2 mol%,
$\Sigma M(II)O, M_2(III)O_3$	zu 27 bis 40 mol%, und
$\Sigma M(IV)O_2, M_2(V)O_5, M(VI)O_3$	zu 0 bis 15 mol% vorhanden ist
und	
$X(B_2O_3)$	> 0,65 beträgt.

[0062] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, die besonders zur Herstellung von hochborsäurehaltigen Borosilicatgläsern und Boratgläsern für optische Anwendungen geeignet ist, wird die Zusammensetzung des Schmelzguts so gewählt, dass der Stoffmengenanteil von:

B_2O_3	45 bis 66 mol%, von
SiO_2	0 bis 12 mol%, von
$B_2O_3 + SiO_2$	55 bis 68 mol%, von
$Al_2O_3, Ga_2O_3, In_2O_3$	0 bis 0,5 mol%, von
$\Sigma M(II)O$	0 bis 40 mol%, von
$\Sigma M_2(III)O_3$	0 bis 27 mol%, von
$\Sigma M(II)O, M_2(III)O_3$	27 bis 40 mol%, und von
$\Sigma M(IV)O_2, M_2(V)O_5, M(VI)O_3$	0 bis 15 mol% beträgt. Dabei
werden die Stoffmengenanteile von B_2O_3 und SiO_2 außerdem so	
gewählt, dass $X(B_2O_3) > 0,78$ ist.	

[0063] Bei dieser Variante des Verfahrens werden als zweiwertige Metallionen, $M(II)$ insbesondere Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Pb zugesetzt. Die Transmission der damit erhaltenen optischen Gläser kann ferner dadurch verbessert werden, indem das Schmelzgut kein stark färbendes CuO aufweist. Die Netzwerkwandler PbO und CdO sind hinsichtlich ihrer toxischen Wirkung bekannt. Es ist daher vorteilhaft, auf diese Komponenten beim Zusammensetzen der Schmelze zu verzichten und PbO- und CdO-freie Zusammensetzungen zu wählen.

[0064] Wird eine Zusammensetzung des Schmelzguts gewählt, bei welchem:

B_2O_3	zu 30 bis 75 mol%,
SiO_2	zu < 1 mol%,
$Al_2O_3, Ga_2O_3, In_2O_3$	zu 0 bis 25 mol%,
$\Sigma M(II)O, M_2(III)O_3$	zu 20 bis 85 mol%, und
$\Sigma M(IV)O_2, M_2(V)O_5, M(VI)O_3$	zu 0 bis 20 mol%, vorhanden sind,
und wobei das Verhältnis der Stoffmengen von Borat und	
Siliziumoxid so gewählt wird, dass $X(B_2O_3) > 0,90$ ist, so	
lassen sich beispielsweise neben Boratgläsern auch	
kristallisierende borhaltige Werkstoffe, wie insbesondere	
Glaskeramiken mit dieser Ausführungsform des	
erfindungsgemäßen Verfahrens herstellen.	

[0065] Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens, die besonders für die Herstellung kristallisierender borhaltiger Werkstoffe, wie etwa Glaskeramiken geeignet ist, wird eine Zusammensetzung des Schmelzguts gewählt, bei welcher die Stoffmengenanteile von

B_2O_3	20 bis 50 mol%, von
SiO_2	0 bis 40 mol%, von
Al_2O_3 , Ga_2O_3 , In_2O_3	0 bis 25 mol%, von
$\Sigma M(II)O$, $M_2(III)O_3$	15 bis 80 mol%, und von
$\Sigma M(IV)O_2$, $M_2(V)O_5$, $M(VI)O_3$	0 bis 20 mol%, betragen, und
wobei $X(B_2O_3)$	$> 0,52$ ist.

[0066] Vorteilhaft kann bei dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, um eine gute Ankopplung zu erreichen, die Zusammensetzung des Schmelzguts so gewählt werden, dass $X(B_2O_3) > 0,55$ ist.

[0067] Die Ankopplung einer derartigen Schmelze läßt sich dabei noch verbessern, wenn die Stoffmengenanteile von

$\Sigma M(II)O$	15 bis 80 mol% und
$M_2(III)O_3$	0 bis 5 mol% im Schmelzgut betragen, und
$X(B_2O_3)$	$> 0,60$ ist.

[0068] Gemäß noch einer vorteilhaften Variante dieses Verfahrens wird der Stoffmengenanteil von Substanzen aus einer Gruppe, die Al_2O_3 , Ga_2O_3 und In_2O_3 umfasst, außerdem so gewählt, dass er 5 mol% nicht überschreitet.

[0069] Besonders bevorzugt wird eine Variante dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welchem der Stoffmengenanteil von Substanzen aus einer Gruppe, die Al_2O_3 , Ga_2O_3 und In_2O_3 umfasst, 3 mol% nicht überschreitet und bei welchem der Stoffmengenanteil von $\Sigma M(II)O$ in der Schmelze im Bereich von 15 bis 80 mol% liegt, wobei $M(II)$ aus einer Gruppe ausgewählt wird, die Zn, Pb und Cu umfasst. Dabei wird die Zusammensetzung der Schmelze außerdem so gewählt, dass $X(B_2O_3) > 0,65$ ist.

[0070] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird für das Schmelzgut eine Zusammensetzung gewählt, bei welcher die Stoffmengenanteile von:

B_2O_3	20 bis 50 mol%, von
SiO_2	0 bis 40 mol%, von
Al_2O_3	0 bis 3 mol%, von
ΣZnO , PbO , CuO	15 bis 80 mol%, von
Bi_2O_3	0 bis 1 mol%, und von
$\Sigma M(IV)O_2$, $M_2(V)O_5$, $M(VI)O_3$	0 bis 0,05 mol% betragen. Bei
dieser Ausführungsform wird die Zusammensetzung außerdem so	
gewählt, dass $X(B_2O_3) > 0,65$ ist.	

[0071] Gemäß einer bevorzugten Variante dieser Ausführungsform des Verfahrens werden folgende Stoffmengenanteile gewählt:

B_2O_3	20 bis 50 mol%,
SiO_2	0 bis 40 mol%,
Al_2O_3	0 bis 3 mol%,
ΣZnO , PbO , CuO	15 bis 80 mol%,
Bi_2O_3	0 bis 1 mol%, und
$\Sigma M(IV)O_2$, $M_2(V)O_5$, $M(VI)O_3$	0 bis 0,05 mol%. Dabei werden die
Stoffmengenanteile von Borat und Siliziumoxid vorteilhaft	
so gewählt, dass $X(B_2O_3) > 0,65$ ist.	

[0072] Gerade für hohe Werte von $X(\text{B}_2\text{O}_3)$, insbesondere bei $X(\text{B}_2\text{O}_3) > 0,60$ ergeben sich die Eigenschaften eines steilen Viskositätsverlaufs einerseits und einer hohen Abbézahl andererseits, so dass sich gerade für diese Werkstoffe besondere Vorteile hinsichtlich der Reinheit und Homogenität unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben.

[0073] Bei der Ausbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung als Einschmelzaggregat für Gläser ergibt sich ein besonderer produktionstechnischer Vorteil, wenn der Innenraum des Tiegels eine im Verhältnis zur Tiefe große Breite aufweist. Dies ermöglicht ein besonders schnelles Einschmelzen. Bisherige Skull-Tiegel waren demgegenüber vergleichsweise tief ausgebildet. Dies hatte seine Ursache darin, dass über den Boden sehr viel Wärme abgeführt wurde. Durch die Verwendung eines elektrisch nicht leitenden Bodens und des Induktortiegels können die Wärmeverluste durch den Boden deutlich reduziert werden. Für Einschmelzaggregate können daher Tiegel vorgesehen werden, bei welchen die lichte Weite mindestens das andertalbfache, vorzugsweise mindestens das doppelte der Tiefe beträgt. Vorzugsweise werden Spule und Tiegel zu einer Einheit vereinigt, dem sogenannten Induktortiegel und dieser mit einem Boden aus einer wärmeleitfähigen jedoch elektrisch isolierenden Keramik wie Aluminiumnitrid (AlN) ausgestattet.

[0074] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigeschlossenen Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen detaillierter beschrieben.

[0075] Es zeigen:

[0076] Fig. 1 einen ersten Teil des Bodens des Induktortiegels, eine Oberbodenplatte, in welche Kühlwasserkanäle eingefräst sind, in einer Ansicht von unten her gesehen,

[0077] Fig. 2 die in Fig. 1 dargestellte Oberbodenplatte des Bodens des Induktortiegels, in welche die Kühlwasserkanäle eingefräst sind, in einer teilweisen Querschnittsdarstellung von der Seite her gesehen,

[0078] Fig. 3 einen zweiten Teil des Bodens des Induktortiegels, eine Unterbodenplatte, in welche Öffnungen zur Durchführung der Kühlwasserkanäle eingefräst sind, in einer Ansicht von oben her gesehen,

[0079] Fig. 4 die in Fig. 3 dargestellte Unterbodenplatte des Bodens des Induktortiegels in einer teilweisen Querschnittsdarstellung von der Seite her gesehen,

[0080] Fig. 5 eine Ansicht eines Ausführungsbeispiels des Induktortiegels,

[0081] Fig. 6 einen Querschnitt durch einen als Einschmelzaggregat ausgebildeten Induktortiegel,

[0082] Fig. 7 einen als Läuteraggregat ausgebildeten Induktortiegel,

[0083] Fig. 8 einen Induktortiegel mit angeschlossener Konditionierstrecke, und

[0084] Fig. 9 ineinander greifende Bodenelemente des Induktortiegels.

[0085] Detaillierte Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen Vorrichtungen zur diskontinuierlichen Herstellung von Glasprodukten aus einer Glasschmelze, welche auch als Skulltiegel bezeichnet werden, sind beispielsweise der deutschen Patentanmeldung DE 10 2006 004 637 A1 mit dem Titel "Induktiv beheizbarer Skulltiegel" zu entnehmen, deren Inhalt bei der nachfolgenden Beschreibung als bekannt vorausgesetzt wird. Folglich soll, da dem Fachmann auf diesem Gebiet bekannt und auch um der Klarheit Willen, nachfolgend auf eine unnötige Beschreibung zusätzlicher Vorrichtungs- und Verfahrensanteile, welche bereits aus dieser Veröffentlichung bekannt sind, verzichtet werden.

[0086] Der Induktortiegel 20 (Fig. 5) ist üblicherweise aus Kupfer oder aus Aluminium gefertigt.

[0087] Dieser kann jedoch auch aus anderen Materialien, z. B. einer Ni-Basislegierung bestehen und gegebenenfalls mit Teflon o. ä. beschichtet sein.

[0088] Der Induktortiegel ist auf der zum Schmelzgut zeigenden Seite (Innenseite) mit einer Schutzschicht 21 versehen, wie nachfolgend detaillierter beschrieben.

[0089] Des Weiteren sind die Anschlüsse des Induktors, die wegen der Doppelfunktion des Induktors als Tiegel und als Spule eng aneinander gekoppelt sein müssen, zusätzlich elektrisch isoliert, um Überschläge zu verhindern.

[0090] Für die Isolierung können verschieden Materialien verwendet werden, unter anderem eine keramische Paste, eine plasmagespritzte Schicht aus Al_2O_3 oder Teflon.

[0091] Im oberen Rand des Induktortiegels ist ein in **Fig. 5** nicht dargestellter Quarzalring angebracht, um ein Luftvolumen über dem Glas sicherzustellen, das als Oberofen fungiert.

[0092] Um diesen Oberofen zu beheizen und dem Glas die zum Startprozess nötige Energie zuzuführen, ist die Apparatur des Weiteren mit einem Brenner ausgestattet. Dieser Brenner wird mittels eines fossilen Energieträgers beheizt und ermöglicht die Vorheizung des Glases bis zum schmelzflüssigen Zustand mit ausreichender elektrischer Leitfähigkeit, so dass die Hochfrequenzenergie eingekoppelt werden kann.

[0093] Der Brenner wird oftmals mit einer Mischung aus Gas und Sauerstoff betrieben. Hierfür können verschiedene Gase oder auch Öl verwendet werden. Statt Sauerstoff kann auch Luft zum Einsatz kommen.

[0094] Der Induktortiegel **20** fungiert als eine einwindige Spule, in der durch Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung ein Hochfrequenzfeld generiert wird. Bei ausreichender Leitfähigkeit des Schmelzgutes wird Energie in der Schmelze absorbiert.

[0095] Dies erfolgt durch das Induzieren eines Stroms im Schmelzgut, das durch die ohmschen Verluste aufgeheizt wird.

[0096] Durch den einwindigen Induktor kann für das Verfahren relativ zum Hochfrequenzschmelzen mit einem kalten Tiegel eine wesentlich geringere Spannung bis 750 V, vorzugsweise von ca. 400 bis 600 V verwendet werden.

[0097] Durch Verwendung dieser niedrigen Spannungen lässt sich für die Erzeugung des Hochfrequenzfeldes für die Beheizung des Schmelzguts ein Halbleitergenerator einsetzen. Der Vorteil gegenüber den Hochfrequenz-Röhrengeneratoren besteht hierbei darin, dass nur ein kleinerer Teil an Energie zur Erzeugung der notwendigen Spannungen im Generator verloren geht. Bei Einsatz von hohen Frequenzen kann die erfindungsgemäße Vorrichtung alternativ oder zusätzlich aber auch mit einem Röhren-Generator ausgerüstet werden, bei welchem die Hochfrequenz-Ströme durch elektrische Röhren verstärkt werden.

[0098] Ein weiterer Vorteil der geringeren Spannung im Vergleich zum Hochfrequenz-Schmelzen besteht darin, dass die Neigung zu Überschlägen abnimmt. Überschläge entstehen dann, wenn die Durchschlagssfeldstärke des Umgebungsmediums überschritten wird.

[0099] Je niedriger die angelegte Spannung, desto geringer ist die Tendenz zu Überschlägen. Dies führt dazu, dass sich die Arbeitssicherheitssituation für die an der Anlage arbeitenden Mitarbeiter deutlich verbessert.

[0100] Des Weiteren treten in Produktionsumgebungen oft Stäube oder Dämpfe auf, die die Durchbruchfeldstärke der Luft herabsetzen. Von daher kommt es unter harten Produktionsbedingungen oft zu Anlagenausfällen durch Überschläge an den üblichen hochfrequenzbeheizten Anlagen mit Skultiegeln und Arbeitsspannungen von einigen tausend Volt. Dies führt zu Produktionsstillständen und damit hohen Kosten. Mit den deutlich geringeren Arbeitsspannungen der Induktortiegelanlagen ist die Wahrscheinlichkeit für Überschläge stark herabgesetzt, die Kostensituation verbessert sich.

[0101] Außerdem wird bei der Zusammenlegung von Spule und Skult zu einem einzigen Bauteil, dem Induktortiegel **20**, der sonst vorhandene zweite Kühlkreislauf zur Kühlung der Spule überflüssig. Der Aufbau wird hierdurch vereinfacht, man spart Kosten für die Installation der Infrastruktur und für den Betrieb des Kühlkreislaufs. Zusätzlich werden noch die Verluste vermieden, die in einem getrennten System im Tiegel entstehen würden. Das Feld des Induktors induziert im Tiegel Ströme, deren Leistungen durch die Kühlung aus der Anlage geführt werden und keinen Beitrag zur Erwärmung des Glases leisten. Bei der Kombination aus Tiegel und Induktor ist dies nicht der Fall.

[0102] In einer speziellen Ausführungsform der Anlage weist der Induktortiegel einen Durchmesser R1 von 250 mm und eine Höhe von 160 mm auf. Das Fassungsvermögen beträgt ca. 8 Liter und umfasst dabei ein

Arbeitsvolumen von netto etwa 6 Litern. Allgemein werden für kontinuierliche Schmelzprozesse größere Tiegel mit einem Fassungsvermögen von mindestens 15 Litern bevorzugt. Besonders geeignet insbesondere für kontinuierliche Schmelz- oder Läuterprozesse sind aber Schmelz- und/oder Läutervorrichtungen mit einem Tiegel mit einem Fassungsvermögen von mehr als 50 Litern bevorzugt.

[0103] Das Aspektverhältnis Höhe zu Durchmesser liegt bei 0,64. An der Innenseite besitzt der Induktortiegel eine mittels thermischer Verfahren aufgetragene Isolationsschicht **21** aus Al_2O_3 .

[0104] Diese ca. 500 μm starke Schicht hebt die elektrische Durchschlagsfestigkeit auf einige Kilovolt. Ohne diese Beschichtung ist es in der Vergangenheit zu Überschlügen gekommen, wenn die Skallschicht in Folge einer Überhitzung des Glases sehr dünn geworden ist.

[0105] Eine Isolationsschicht **21** wird dabei insbesondere im Bereich des Induktorspalts **22** vorgesehen, da hier bei der einwindigen Bauweise die höchsten Potentialdifferenzen auftreten.

[0106] Die Arbeitsfrequenz der Anlage liegt im Bereich von ca. 70 bis 400 kHz, vorzugsweise bis 300 kHz und lässt sich mittels der Kapazität einer Kondensatorbank in diesem Bereich beliebig einstellen. Die Kondensatorbank ist Bestandteil eines Schwingkreises des Halbleitergenerators, wobei die Schwingungsfrequenz des Schwingkreises durch die Kapazität bestimmt wird. Um die Frequenz zu ändern, können der Kondensatorbank Kondensatoren hinzugeschaltet oder Kondensatoren der Bankabgeschaltet werden. Mit anderen Generatoren können auch höhere Frequenzen bis etwa 2 Mhz, vorzugsweise bis 1,4 MHz eingestellt werden.

[0107] Vorzugsweise ist der Schwingkreis dabei als Parallelschwingkreis ausgebildet, wobei die Kondensatorbank die Kapazität des Schwingkreises und der Induktortiegel die Induktivität bildet oder zumindest Bestandteil der Induktivität des Schwingkreises ist. An diesen Schwingkreis wird ein Wechselrichter des Halbleitergenerators angeschlossen.

[0108] Die Maximal-Ausgangsleistung der Anlage beträgt gemäß einem Ausführungsbeispiel etwa 320 kW.

[0109] Bei den vorstehend beschriebenen Abmessungen des Induktortiegels überschreitet der Leistungsbedarf einen Grenzwert von 80 kW nicht. Für eine industrielle Produktion können auch Generatoren mit höheren Ausgangsleistungen vorgesehen werden. Im Allgemeinen sind Generatoren mit Ausgangsleistungen bis 800 kW ausreichend.

[0110] In den bisherigen Versuchen war eine Generatorspannung von maximal 380 V nötig. Dies entspricht einer Induktorspannung von etwa 650–700 V, da die Generatorspannung mit Hilfe der Kondensatorbank noch erhöht wird.

[0111] Ein weiteres Schmelzaggregat steht mit einem Induktortiegel aus Aluminium zur Verfügung. Dieser besitzt bei gleichem Durchmesser und einer Höhe von 240 mm ein effektives Fassungsvermögen von etwa 11 Litern. Die Konstruktion war weitestgehend gleich. Dieser Tiegel wurde konzipiert, um mit der Verwendung von Aluminium eine weitere Verunreinigungsquelle auszuschließen. Aluminiumoxid, welches bei einer Verunreinigung des Glases entstehen würde, ist ein häufiger Bestandteil der zu schmelzenden Gläser. Außerdem verursacht es im Gegensatz zu Cu, Fe, Cr, Ni, Pt etc. keinerlei Färbung.

[0112] Skalltiegel und Böden aus Metall sind aus Stäben mit dazwischenliegenden Schlitten aufgebaut, damit das Hochfrequenzfeld nicht schon im Tiegel komplett absorbiert wird.

[0113] Außerdem sind der Zylindermantel und der Boden voneinander elektrisch isoliert, um Kurzschlussströme zu unterdrücken.

[0114] Durch die geschlitzte Bauart kann die Energie durch die Stäbe hindurch in die Schmelze eingebracht werden und diese erwärmen. Bei einigen Skalltiegeln und -böden aus Metall absorbieren die Stäbe jedoch einen Teil der Energie (ca. 10–20%) und wandeln ihn in Wärme um. Diese wird über das Kühlwasser abtransportiert und ist für den Prozess verloren.

[0115] Durch den geschlitzten Aufbau besteht aber immer die Gefahr, dass das Glas, insbesondere bei dünnen Skallkrusten und niedrigviskosen Schmelzen zwischen den Stäben herausläuft.

[0116] Durch die Verwendung eines einwindigen Induktortiegels ist die zylinderförmige radiale Wand jetzt flächig ausgebildet, es kann keine Schmelze mehr herauslaufen. Es findet auch keinerlei Energieabsorption des Hochfrequenzfeldes durch zusätzliche Metallstäbe (Skulltiegel) mehr statt.

[0117] Der Boden kann jedoch nicht als metallische Scheibe aufgebaut werden.

[0118] Der Boden muß elektrisch von den Zylinderflächen isoliert sein, um Kurzschlussströme zu vermeiden. In diesem Fall würde dieser jedoch als Absorber wirken und kein Feld mehr durchlassen, insbesondere wenn dieser flächig ausgebildet ist.

[0119] Eine Erwärmung der Schmelze wäre nicht mehr möglich.

[0120] Ein geschlitzter Aufbau würde keinen guten Auslaufschutz bieten und immer noch zu Energieverlusten führen, wenn auch weniger als die oben angegebenen 10 bis 20% für den Gesamtaufbau.

[0121] Würde der Boden aus den üblichen keramischen Feuerfestmaterialien bestehen, wäre zunächst ein Auslaufschutz vorhanden und es würde auch kein Verlust durch Absorption der elektrischen Energie mehr auftreten. Jedoch würden die teilweise recht aggressiven Schmelzen dazu führen, dass das Feuerfestmaterial nach und nach abgetragen würde. Die Auflösungsprodukte würden die Glasqualität verschlechtern.

[0122] Noch nachteiliger wäre jedoch, dass der Boden immer dünner werden und irgendwann brechen würde und dies zu Glasaustritt mit katastrophalen Folgen führen würde.

[0123] Eine solche Ausführung ist daher wenig praxistauglich.

[0124] Eine Luft- bzw. Wasserkühlung wie bei den Stäben aus Metall ist bei den üblichen Feuerfestmaterialien nicht sinnvoll, da bei diesen die Wärmeleitfähigkeit zu niedrig ist.

[0125] Die sehr wünschenswerte Kombination aus sehr niedriger elektrischer Leitfähigkeit (Isolator) und guter Wärmeleitfähigkeit ist mit den üblichen metallischen oder feuerfesten Konstruktionswerkstoffen der Glasindustrie nicht erzielbar.

[0126] Jedoch haben die Erfinder erkannt, dass es überraschenderweise einige keramische Werkstoffe, meist auf nichtoxidischer Basis gibt, die diese ungewöhnliche Eigenschaftskombination in sich vereinen.

[0127] Ein besonders herausragender Vertreter dieser Stoffklasse ist das Aluminiumnitrid AlN, jedoch ist die Funktionsfähigkeit der Erfindung nicht auf dieses Material beschränkt, sondern es existieren auch andere, wie beispielsweise Titannitrid, Bornitrid, Aluminiumoxid, sowie Si_3N_4 mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 50W/m·K. Diese Materialien weisen zwar eine vergleichsweise geringere Wärmeleitfähigkeit auf, allerdings ist die Wärmeleitfähigkeit aller dieser Materialien immer noch höher als 20 W/m·K. Dies ist im Allgemeinen ausreichend, um eine hinreichende Kühlung zur Ausbildung einer Skullschicht zu erzielen.

[0128] Wichtig ist, dass möglichst wenig Energie im Tiegelboden absorbiert wird. Deswegen wird ein Material mit geringer elektrischer Leitfähigkeit verwendet.

[0129] Der Tiegelboden wird ebenso wie der Induktor vorzugsweise mit Wasser gekühlt, um zu vermeiden, dass die Keramik durch das Schmelzgut zu stark aufgeheizt wird und dadurch wiederum korrodieren kann. Deswegen wird ein Material mit hoher thermischer Leitfähigkeit verwendet. Dies verhindert auf sichere Weise ein Auslaufen des flüssigen Glases. Auch eine Luftkühlung ist aber denkbar.

[0130] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform umfasst eine Aluminiumnitrid-Keramik, nachfolgend vereinfacht auch als AlN-Keramik bezeichnet. Dabei wird der Boden so gekühlt, dass dessen Oberflächentemperatur an der zur Schmelze gewandten Seite, beziehungsweise an der Tiegelninnenseite geringer als 750°C, vorzugsweise geringer als 500°C ist.

[0131] Der Boden umfasst bei einer bevorzugten Ausführungsform zwei Teile, eine Ober- und eine Unterbodenplatte.

[0132] Der erste Teil besteht aus der allgemein mit dem Bezugszeichen **1** versehenen Oberbodenplatte, in welche die Kühlwasserkanäle **2**, **3**, **4** und **5** gemäß **Fig. 2** auf der dem Schmelzgut abgewandten Seite eingefräst sind.

[0133] Des Weiteren weist die Oberbodenplatte **1** Einfürungen auf, in welche die metallischen Zuführungen für das Kühlwasser eingepresst sind.

[0134] Randseitig ist an der dem Schmelzgut zugewandten Seite der Oberbodenplatte **1** ein Steg **15** ausgebildet, welcher gegenüber deren Außenradius R1 einen zurückgesetzten inneren Bereich **6** mit Radius R2 definiert.

[0135] An der dem Schmelzgut abgewandten Seite der Oberbodenplatte **1** ist ein weiterer Steg **7** ausgebildet, welcher gegenüber dem Außenradius R1 einen zurückgesetzten inneren Bereich **8** mit Radius R3 definiert, innerhalb welchem ein oberer Teil der Unterbodenplatte **9** aufgenommen werden kann.

[0136] Die Unterbodenplatte **9** gemäß **Fig. 3** und **Fig. 4** ist eine relativ dünne Platte und dient dazu, die Kühlwasserkanäle **2**, **3**, **4** und **5** abzudichten. In diesem Teil sind die Bohrungen **10**, **11**, **12** und **13** für die Kühlwasseranschlüsse untergebracht.

[0137] Die Unterbodenplatte **9** weist eine randseitig umlaufende Ausnehmung **14** mit einem Außendurchmesser von etwa R3 auf, welche geeignet ist, den Steg **7** der Oberbodenplatte **1** aufzunehmen.

[0138] Die Unterbodenplatte **9** wird in einer besonders einfachen Ausführungsform mit der Oberbodenplatte **1**, in der die Kühlkanäle eingefräst sind, mittels handelsüblicher Zweikomponentenkleber oder Epoxyleber verklebt.

[0139] Jedoch sind je nach Bedarf auch andere Verbindungstechniken denkbar, beispielsweise die Verschmelzung mit einem an die thermische Ausdehnung angepassten Glaslot.

[0140] Der AIN-Boden besteht bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel folglich aus zwei Scheiben die jeweils einen Außendurchmesser R1 von etwa 322 mm besitzen.

[0141] Beide Scheiben werden so aufeinander geklebt, dass die Oberseite mit den eingefrästen Kühlkanälen **2**, **3**, **4** und **5** von der Unterseite her wasserdicht abgeschlossen wird.

[0142] Der Steg **15** im Randbereich der Oberbodenplatte **1** bildet eine ca. 10 mm hohe Stufe, welche die Gefahr für das Austreten der Schmelze praktisch eliminiert.

[0143] An der Innenseite dieser Stufe schließt sich die Außenseite des Induktortiegels an.

[0144] Unterbrochen wird dieser Steg **15** oder somit diese Stufe an der Stelle, an welcher sich die Zuleitungen für den Induktortiegel befinden.

[0145] Diese Aussparung besitzt eine Breite von 40 mm. In diesem Teil des Bodens sind die vier 13 mm breiten und 6 mm tiefen Kühlkanäle untergebracht.

[0146] Deren mittlere Position befindet sich bei drei Radien 15,5 mm, 46,5 mm, 77,5 mm und 108,5 mm.

[0147] Die beiden inneren und die beiden äußeren Kanäle sind jeweils mit einander verbunden.

[0148] In der Abdeckung für diesen Teil befinden sich vier Bohrungen von jeweils 10 mm Durchmesser, um den Ein- oder Ausgang für das Kühlwasser zu gewährleisten. Die Dicke dieser Platte beträgt etwa 10 mm.

[0149] Um eine ausreichende Abfuhr der Wärme sicherzustellen, darf die Platte nicht zu dick sein. Andererseits muß diese eine mechanische Mindeststabilität aufweisen. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel hat es sich daher bewährt, eine Dicke im Bereich von 8 bis 12 mm zu verwenden.

[0150] Bei anderen Ausführungsformen können jedoch andere Abmessungen zur Anwendung kommen.

[0151] Sofern die Abmessungen des Tiegels bestimmte Werte übersteigen, kann das Problem auftreten, dass einstückige Böden in geeigneter Größe nicht auf dem Markt erhältlich oder sehr teuer sind. Daher kann insbesondere im Falle großer Tiegel der Boden aus mehreren Bauteilen parkettartig zusammengesetzt werden. Um zu verhindern, dass sich diese Bauteile gegeneinander verschieben, können die Oberbodenelemente **1a, 1b** mit den Unterbodenelementen **9a, 9b** beispielsweise verklebt werden (**Fig. 9**). Eine andere Möglichkeit das "Verrutschen" der einzelnen Teile zu verhindern besteht darin, Nuten und Nasen in den Bauteilen vorzusehen, die ineinander gefügt werden.

[0152] Es sollte jedoch vorteilhaft sichergestellt werden, dass eine Temperatur von 800°C an der heißesten Stelle nicht überschritten wird, da in Gegenwart von Sauerstoff (an Luft oder reinem Sauerstoff) ab dieser Temperatur die oxidative Zersetzung des Aluminiumnitrids beginnt. Unter neutralen bis reduzierenden Bedingungen, die beispielsweise durch die Verwendung von Schutzgasen eingestellt werden können, sind jedoch auch höhere Temperaturen möglich.

[0153] Es ist jedoch zu beachten, dass es durch die chemische Interaktion mit der Schmelze schon wesentlich früher zu einer Schädigung des Materials kommen kann.

[0154] Auch sollten die maximalen Anwendungstemperaturen von Kleber oder Glaslot nicht überschritten werden. Diese liegen zwar durchweg in kühleren Bereichen der Anordnung, sind aber im allgemeinen thermisch nicht so belastbar. An den betreffenden Stellen sollten bevorzugt 200°C und besonders bevorzugt 180°C nicht überschritten werden.

[0155] In der Praxis hat es sich bewährt, an der Grenzfläche Glas/Oberbodenplatte Temperaturen von 200°C oder darunter einzustellen. Unter diesen Bedingungen konnte keinerlei Schädigung des Materials beobachtet werden.

[0156] Es wurden verschiedene Schmelzversuche mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens durchgeführt.

[0157] In einem ersten Ausführungsbeispiel kam ein extrem dünnflüssiges Lotglas zum Einsatz.

[0158] Die Zusammensetzung und typische Materialeigenschaften sind in Tabelle 1 für Beispiel 1 angegeben.

[0159] Durch die hohen Konzentrationen an B_2O_3 und ZnO und durch die niedrige Viskosität dieses Materials wäre ein Schmelzen in herkömmlichen keramischen Feuerfestmaterialien, wie beispielsweise Kieselglas, vollkommen ausgeschlossen, da sich diese Materialien in kürzester Zeit komplett in der Schmelze auflösen würden.

[0160] Es käme dann folglich zum Totalausfall der Anlage.

[0161] Auch ein Schmelzen in Behältnissen aus Edelmetall wäre nicht möglich, da das sich auflösende Metall die elektrischen Eigenschaften des Produktes stören oder zerstören würden.

[0162] Ein Schmelzprozeß in einer gebräuchlichen Skulttiegel-Hochfrequenzanlage würde zwar die beschriebenen Nachteile vermeiden und lieferte eine zufriedenstellende Glasqualität, neben den vorstehend beschriebenen anlagentechnischen Nachteilen (zwei Kühlkreisläufe, Überschlüge, Blindleistungsverluste an Röhre und Skulttiegel, komplexe und damit kostenträchtige Tiegel) bestünde jedoch auch noch ein Nachteil in der Bedienung der Anlage.

[0163] Da das Glas sehr dünnflüssig ist und es durch den steilen Gradienten von Viskosität gegen Leitfähigkeit leicht zu Überhitzungen kommt, könnte es geschehen, dass das Glas die Skulkruste durchschmilzt und zwischen den Rohren des Tiegels herausläuft.

[0164] Verkleinerte man die Abstände zwischen den Rohren, könnte man zwar die Auslaufgefahr minimieren, man würde jedoch die Einkoppeleffizienz des elektromagnetischen Feldes massiv herabsetzen, so dass dieser Weg zwangsläufig zu einer Steigerung der Betriebskosten führt würde.

[0165] Man könnte einen Glasschmelzdurchbruch auch durch ein aufwendiges Mess- und Regelsystem sowie durch hochqualifiziertes und gut trainiertes Personal vermeiden, jedoch führte auch dies zu einer erheblichen Steigerung der Produktionskosten.

[0166] Wesentlich geschickter ist es, in diesem Fall eine Induktorschmelzanlage zu verwenden, deren flächig ausgeführter Tiegel ein Auslaufen von vornherein konstruktiv verhindert.

[0167] Für das vorstehend beschriebene Ausführungsbeispiel mit Lotglas wurde vor Versuchsbeginn 11 kg Material eingefüllt und mittels Gasbrenner vorgeheizt.

[0168] Der Brenner wurde unter ständigem Nachchargieren von Glas mit einem Propan/Sauerstoff Verhältnis von 1,2 zu 12 betrieben.

[0169] Alle nachfolgend angegebenen Spannungswerte beziehen sich auf die am Generator anliegende Spannung. Durch die Spannungserhöhung an der Kondensatorbank sind die am Induktor anliegenden Spannungen um den Faktor 1,7 höher.

[0170] Nach einer Zeit von etwa 30 min wurde der Generator mit einer Spannung von ca. 300 V bei einer Frequenz von 97,6 kHz eingeschaltet und die Leistung des Gasbrenners schrittweise abgesenkt.

[0171] Bei Schmelzentemperaturen von etwa 1250°C konnte ein stationärer Zustand erreicht werden, bei dem das Glas im Tiegel komplett aufgeschmolzen wurde.

[0172] Hierfür wurde eine Spannung von etwa 240 V benötigt und dem Netz eine Gesamtleistung von etwa 60 kW entnommen. Das Gesamtgewicht der Schmelze betrug etwa 18 kg.

[0173] In einem zweiten Ausführungsbeispiel wurde ein hochschmelzendes Glas für faseroptische Anwendungen mit sehr guter Transmission hergestellt. Zusammensetzung und Eigenschaften sind in Tabelle 1 für Beispiel 2 zusammengestellt.

[0174] Die Schmelztemperaturen liegen für dieses Glas bei ca. 1400°C. Bei diesen Temperaturen werden die üblichen keramischen Behältermaterialien auch durch dieses Glas stark angegriffen.

[0175] Eine Schmelze in Edelmetallgefäßen käme durch den in das Schmelzgut eingebrachten Gelbstich und die starke Dämpfungserhöhung, die diese Materialien verursachen, ebenfalls nicht in Frage.

[0176] Durch das erfindungsgemäße korrosionsfreie Schmelzverfahren hat man die Möglichkeit, hohe Transmissionswerte zu erreichen, da im Idealfall keine Verunreinigungen in das Glas eingetragen werden.

[0177] Mit den Skultiegelanlagen wurden hier bereits recht gute Ergebnisse erzielt, jedoch neigt dieses Glas dazu, bei ungenügender Energiezufuhr Schmelzrelikte in Form von ZnO- oder Zn₂SiO₄-Einschlüssen auszubilden.

[0178] Durch die Vermeidung der 10 bis 20% Blindleistungsverluste am Skultiegel und die höheren Ströme und damit besseren lokalen Leistungsübertragungen auf das Schmelzgut ist auch hier das Induktortiegelverfahren im Vorteil.

[0179] Bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel wurde vor Versuchsbeginn 13,5 kg des zuvor beschriebenen Glases eingefüllt und mittels Gasbrenner vorgeheizt.

[0180] Der Brenner wurde unter ständigem Nachchargieren von Glas diesmal mit einem Methan/Sauerstoff Verhältnis von 1,8 zu 6 betrieben.

[0181] Nach Ablauf von etwa 60 min wurde der Generator mit einer Spannung von ca. 250 V bei einer Frequenz von 97,3 kHz eingeschaltet und die Leistung des Gasbrenners schrittweise abgesenkt.

[0182] Es konnten Schmelztemperaturen von etwa 1450°C ermittelt werden.

[0183] Im stationären Zustand wurde eine Spannung von etwa 350 V benötigt und die Netzleistung lag bei etwa 80 kW.

[0184] Das Gewicht der Schmelze betrug nach dem Versuch 17,3 kg.

Tabelle 1

Glaszusammensetzung der Gläser der Ausführungsbeispiele

Zusammensetzungs-komponente	Beispiel 1	Beispiel 2 (Gew.-%)
SiO ₂	9,7	48,64
ZnO	62,0	31,4
B ₂ O ₃	23,7	-
Na ₂ O	-	7,69
K ₂ O	-	6,06
Li ₂ O	-	0,87
PbO	3,1	-
BaO	-	0,83
Bi ₂ O ₃	0,11	-
ZrO ₂	0,01	-
La ₂ O ₃	-	4,3
CeO ₂	0,8	? -
Sb ₂ O ₃	0,6	-
As ₂ O ₃	-	0,1

Eigenschaft		
Brechungsindex n _d	1,67958	1,57997
Abbe-Zahl v _d	45,68	51,78
$\alpha_{20-300} \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	4,45	9,1
Transformationstemperatur T _g °C	546	508
Dichte p g/cm ³	3,83	3,13
Erweichungstemp. T(7,6): E _w °C	632	657

[0185] Im Folgenden wird die Konstruktion eines einwindigen Induktortiegels **20** weiter anhand der schematischen Ansicht der **Fig. 5** erläutert. Bereits beschrieben wurde die Innenbeschichtung **21**, vorzugsweise mit Al₂O₃, die besonders im Bereich des Induktorspalts **22** vorgesehen ist. Der Tiegel ist aus mehreren, mechanisch und der Länge nach elektrisch miteinander verbundenen Rohren **24, 26, 28, 30** aufgebaut, welche ein Tiegelgefäß **23** bilden und sich in zwei nebeneinander unter Einschluß des Spalts **22** verlaufende Schenkel **31, 32** fortsetzen. Der Boden des Tiegels wird durch die oben beschriebenen Ober- und Unterbodenplatten **1, 9** verschlossen. Zwischen den Schenkeln kann ein elektrisches Isolationsmaterial, beispielsweise Teflon vorgesehen werden, um hier elektrische Überschlüge zu vermeiden.

[0186] An den Enden der Schenkel **31, 32** erfolgt der elektrische Anschluß an den Halbleiter-Generator. Jedes der Rohre **24, 26, 30** ist mit eigenen Kühlwasseranschlüssen **33, 34, 35, 36** versehen, was eine individuelle Versorgung der Rohre mit Kühlfluid und insbesondere auch eine Steuerung der Kühlleistung der einzelnen Rohre ermöglicht. Damit ist es auch möglich, das Temperaturprofil in der Schmelze in gewissem Umfang zu steuern. Beispielsweise kann auf diese Weise die Konvektion der Schmelze angeregt werden.

[0187] Für einen kontinuierlichen Schmelz- oder Läuterbetrieb wird am Tiegelgefäß **23** ein Auslauf vorgesehen, über welchen die erschmolzene und/oder geläuterte Schmelze abgeführt wird. Der Auslauf kann beispielsweise am oberen Rand des Tiegelgefäßes vorgesehen sein. Auch für den Auslauf eignet sich eine nach Art eines Skultiegels gekühlte Rinne. Das Einlegen des Schmelzguts erfolgt auf die Schmelzbad-Oberfläche.

[0188] Um bei einem am oberen Rand des Tiegelgefäßes angeordneten Auslauf zu vermeiden, dass eingelegtes Schmelzgut direkt in den Auslauf gelangt, kann eine gekühlte Barriere vorgesehen werden, die von oben in die Schmelze eintaucht und den direkten Weg vom Einlegebereich in den Auslauf versperrt.

[0189] Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines als kontinuierliches Einschmelzaggregat ausgebildeten Induktortiegels **20**. Das Tiegelgefäß **23** weist vorzugsweise ein Fassungsvermögen von mindestens 15 Litern, besonders bevorzugt von mindestens 50 Litern auf. Im Unterschied zu dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Tiegelgefäß **23** außerdem ein größeres Aspektverhältnis der lichten Weite zur Tiefe auf. Bei dem dargestellten Beispiel beträgt die lichte Weite des Tiegels mehr als das Doppelte der Tiefe. Damit weist die Glasschmelze **40** eine große freie Oberfläche **41** auf. Dies erleichtert das Einschmelzen des auf die Oberfläche **41** kontinuierlich oder quasikontinuierlich eingelegten Einschmelzgutes **42**. Das Einlegen des Einschmelzgutes **42** erfolgt bei der in Fig. 6 gezeigten Vorrichtung rein beispielhaft über ein Rohr **43**. Beispielsweise kann auch ein Förderband vorgesehen sein, welches das Einschmelzgut **42** durch die Einlegeöffnung **45** der wärmeisolierenden oberen Abdeckung **44** auf die Oberfläche **41** der Glasschmelze **40** streut. Durch den Boden **19** mit den Bodenplatten **1** und **9** ist ein Keramik- oder Edelmetallrohr **46** zum Abführen der Schmelze eingesetzt. Das Abführen der Schmelze durch das Rohr erfolgt kontinuierlich.

[0190] Fig. 7 zeigt einen als Läuteraggregat ausgebildeten Induktortiegel **20**. Auch diese Vorrichtung ist ebenso wie die in Fig. 6 dargestellte Vorrichtung zum kontinuierlichen Verarbeiten von Glasschmelzen **40** ausgebildet. Auch diese Vorrichtung weist eine isolierende Abdeckung **44** zur Wärmedämmung auf.

[0191] Es sind ein Abfluss **46** und ein Zufluss **47** für die Glasschmelze **40**, vorgesehen, welche beide durch die elektrisch leitende Wandung des Induktortiegels **20** hindurch in das Tiegelgefäß **23** münden. Sowohl der Zufluss **46**, als auch der Abfluss sind als Rohre ausgebildet. Alternativ sind auch Rinnen denkbar. Für beide Rohre oder Rinnen kann ebenfalls wie bei dem in Fig. 6 gezeigten Abfluss Edelmetall als Material eingesetzt werden. In diesem Fall kann es günstig sein, durch Isolationselemente **48** die Rohre elektrisch von der Tiegelwandung zu isolieren, um eine Einkopplung der Hochfrequenzströme in die Rohre zu vermeiden. Es bietet sich dabei an, für die Isolationselemente **48** ebenfalls wie für die Platten **1**, **9** des Bodens **19** eine elektrisch isolierende aber wärmeleitfähige Keramik einzusetzen. Bei diesem Läuteraggregat erfolgt sowohl der Zufluss, als auch der Abfluss der Schmelze **40** vorzugsweise kontinuierlich. Anders als in Fig. 7 dargestellt, ist auch eine Konfiguration denkbar, bei welcher der Zufluss **46** oder der Abfluss **47** durch den Induktorspalt verläuft. Auch ist eine solche Konfiguration für einen Abfluss bei einem Einschmelzaggregat denkbar.

[0192] Fig. 8 zeigt eine Variante des in Fig. 7 gezeigten Ausführungsbeispiels. Hier ist der Abfluss **47** als Konditionierstrecke ausgebildet. Die Konditionierstrecke setzt sich aus zwei schmelzeführenden Elementen **50**, **51** zusammen und verbindet den Induktortiegel **20** mit einer weiteren Vorrichtung **52**. Die Vorrichtung **52** kann beispielsweise eine Glasformungseinrichtung, wie etwa eine Walzvorrichtung zum Herstellen von Glasscheiben sein. Das erste schmelzeführende Element **50** der Konditionierstrecke ist ebenso wie der Boden **19** aus einer aluminiumnitridhaltigen Keramik gefertigt. Auch hier stellt einen bornitridhaltige Aluminiumnitrid-Keramik ein besonders geeignetes Material dar.

[0193] An das erste schmelzeführende Element **50** schließt sich ein weiteres schmelzeführendes Element **51** aus Edelmetall, vorzugsweise Platin oder einer Platinlegierung an. Entlang der Flussrichtung wird die Schmelze gezielt heruntergekühlt. Dazu sind Kühlfluid-Mäntel **53**, **54**, vorzugsweise für Kühlflüssigkeit, alternativ oder zusätzlich aber auch für Gas als Kühlfluid vorgesehen, welche die als Rohre ausgebildeten schmelzeführenden Elemente **50**, **51** umgeben. Beim Durchfluss durch das keramische Element **50** wird dabei die Schmelze **40** bis auf eine für das Edelmetall-Material des weiteren schmelzeführenden Elements **51** verträgliche Temperatur heruntergekühlt. Optional können auch Heizungseinrichtungen vorgesehen sein, um die Konditionierung der Schmelze gezielt steuern zu können. Für den Bereich des ersten, keramischen schmelzeführenden Elements bietet sich hier wiederum eine Induktionsspule **55** an. Eine Beheizung im Bereich des weiteren Schmelzeführenden Elements **52** kann beispielsweise direkt konduktiv erfolgen, indem ein elektrischer Strom durch das elektrisch leitende Edelmetallrohr geleitet wird.

[0194] Anstelle von rohrförmigen schmelzeführenden Elementen **50**, **51** können auch rinnenförmige Elemente eingesetzt werden. Rohre sind günstig, um eine gleichmäßige Abkühlung zu erzielen. Zudem kann ein Kontakt mit Luft bei vollständiger Füllung mit Schmelze vermieden werden. Bei Rinnen kann demgegenüber eine sehr schnelle Abkühlung und auch eine einfache Beheizung über Brenner oberhalb der Schmelze erfolgen.

[0195] Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die Erfindung nicht auf die anhand der Figuren beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise variiert werden kann. Insbesondere können die einzelnen Merkmale der Ausführungsbeispiele auch miteinander kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Produkten aus einer Schmelze, wobei das Verfahren wenigstens folgende Verfahrensschritte aufweist:

Zuführen der Schmelzrohstoffe oder einer Vorschmelze in einen Skultiegel,

Erhitzen der Schmelze auf eine vorbestimmte Temperatur in einem Skultiegel mittels eines hochfrequenten Wechselfeldes,

kontinuierliches Abführen der auf die vorbestimmte Temperatur erhitzten Schmelze,

wobei die Wandung des Skultiegels einen elektrisch leitfähigen Induktor und einen Boden aus elektrisch nicht leitfähigem jedoch wärmeleitfähigem Material umfasst oder bildet, wobei die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-3} S/m ist und die Wärmeleitzahl zumindest 20 W/m·K beträgt, wobei es sich um einen nitridhaltigen Werkstoff handelt, der einen Sauerstoffgehalt von weniger als 2 mol% aufweist, und

wobei die Wandung und der Boden gekühlt werden, so dass sich im Inneren des Tiegels eine Skullschicht ausbildet und

wobei die Wandung des Skultiegels gleichzeitig die Spule zur Applikation des Hochfrequenzfeldes umfasst, und

wobei der Skultiegel zumindest zwei Monate im Dauerbetrieb betrieben wird und wobei ein kurzzeitig unterbrochener Betrieb noch als Dauerbetrieb erachtet wird, solange der Tiegel mindestens 85% der Zeit innerhalb der Betriebsdauer im Schmelzbetrieb betrieben wird.

2. Verfahren gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandung einen einwindigen Induktor bildet, mit welchem das hochfrequente Wechselfeld erzeugt wird.

3. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-8} S/m ist.

4. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei dem nitridhaltigen Werkstoff um eine Nitridkeramik handelt.

5. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Induktor mit einem Wechselstrom mit einer Frequenz im Bereich von 70 kHz bis 2 MHz, vorzugsweise bis 300 kHz betrieben wird.

6. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Induktor mit einer Frequenz von höchstens 90 kHz betrieben wird.

7. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest 40% der elektrischen Eingangsleistung als Wärmeleistung in die Schmelze eingebracht werden.

8. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Skultiegel mit einer Spannung bis 750 V, vorzugsweise mit einer Spannung zwischen 400 und 600 V betrieben wird.

9. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Glas geschmolzen oder geläutert wird, bei welchem zwischen den Viskositätswerten $10^{7,6}$ dPa·s und 10^3 dPa·s ein Temperaturintervall von höchstens 500°C liegt.

10. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein borathaltiges Glas geschmolzen und/oder geläutert wird, welches als Bestandteil zumindest ein Metalloxid, dessen Metalionen zwei- oder höherwertig sind, mit einem Stoffmengenanteil von zumindest 25 mol% aufweist, und wobei das Verhältnis der molaren Stoffmengen von Siliziumdioxid zu Borat im Schmelzgut kleiner oder gleich 0,5 ist.

11. Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schmelze kontinuierlich durch ein Keramik- oder Edelmetallrohr abgeführt wird, welches am Boden des Tiegels angeschlossen ist.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schmelze kontinuierlich durch die elektrisch leitende Wandung des Skultiegels hindurch abgeführt wird.
13. Vorrichtung zur kontinuierlichen Herstellung von Produkten aus einer Schmelze, wobei die Vorrichtung umfasst:
Mittel zum Zuführen der Schmelzrohstoffe oder zum Zuführen einer Vorschmelze, einen Skultiegel zum Erhitzen der Schmelze auf eine vorbestimmte Temperatur, wobei die Wandung des Skultiegels einen elektrisch leitfähigen Induktor umfasst und der Boden des Skultiegels aus einem Material besteht, dessen Wärmeleitfähigkeit zumindest 20 W/m·K beträgt und dessen elektrische Leitfähigkeit bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-3} S/m ist, wobei es sich um einen nitridhaltigen Werkstoff handelt, der einen Sauerstoffgehalt von weniger als 2 mol% aufweist und
Mittel zum Kühlen der Wandung und des Bodens, Mittel zum kontinuierlichen Abführen der auf die vorbestimmte Temperatur erhitzten Schmelze.
14. Vorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-8} S/m ist.
15. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei dem nitridhaltigen Werkstoff um eine Nitridkeramik handelt.
16. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 15, gekennzeichnet durch einen einwindigen Induktortiegel.
17. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 16, ausgebildet als Schmelz- und/oder Läuteraggregat.
18. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 17, ausgebildet zum Betrieb des Induktors mit einem Wechselstrom mit einer Frequenz im Bereich von 70 kHz bis 1400 kHz, vorzugsweise bis 300 kHz.
19. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, 13 bis 18 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Boden des Skultiegels eine Nitridkeramik, insbesondere Aluminiumnitrid, eine aluminiumnitridhaltige Keramik, Titanitrid oder Bornitrid enthält.
20. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Boden des Skultiegels mehrere Bauteile aus Nitridkeramik umfasst.
21. Vorrichtung gemäß Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Bauteile des Bodens mittels ineinander greifender Elemente miteinander verbunden sind.
22. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Material des Bodens eine Dielektrizitätskonstante kleiner als 8 bei einer Frequenz von 1 MHz aufweist.
23. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmeleitfähigkeit des Bodens bei einer Temperatur von 20°C größer als 85 W/m·K und bevorzugt größer 150 W/m·K ist.
24. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 23, gekennzeichnet durch eine innenseitige Isolationsbeschichtung des Tiegels.
25. Vorrichtung gemäß vorstehendem Anspruch, gekennzeichnet durch eine Aluminiumoxid-Beschichtung.
26. Vorrichtung gemäß einem der beiden vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine elektrisch isolierende Beschichtung im Bereich des Induktorspalts.
27. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung einen Wirkungsgrad aufweist, bei welchem zumindest 40% der elektrischen Eingangsleistung als Wärmeleistung in die Schmelze eingebracht werden.
28. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Skultiegel ein Fassungsvermögen von mindestens 15 Litern, vorzugsweise mindestens 50 Litern aufweist.

29. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass die lichte Weite des Tiegels mindestens das Anderthalbfache, vorzugsweise mindestens das Doppelte der Tiefe des Tiegels beträgt.

30. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 29, gekennzeichnet durch eine am Skultiegel angeschlossene Konditioniereinrichtung, welche ein erstes schmelzeführendes Element und ein daran anschließendes zweites schmelzeführendes Element aufweist, wobei das erste schmelzeführende Element ein Keramikrohr oder eine Keramikrinne ist, deren Keramik eine Nitridkeramik, vorzugsweise Aluminiumnitrid, enthält, und wobei das zweite schmelzeführende Element ein Edelmetallrohr oder eine Edelmetallrinne ist.

31. Skultiegel einer Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche 13 bis 30, mit einer Vorrichtung zum Ab- oder Zuleiten von Schmelze, umfassend ein Verbindungselement aus einem Material, dessen Wärmeleitfähigkeit größer als $20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ und dessen elektrische Leitfähigkeit bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-3} S/m ist.

32. Vorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Leitfähigkeit des Verbindungselements bei einer Temperatur von 20°C kleiner als 10^{-8} S/m ist.

33. Skultiegel nach einem der vorstehenden Ansprüche 31 bis 32, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbindungselement keramisches Material, insbesondere aluminiumnitrid-haltiges keramisches Material umfasst.

34. Skultiegel nach einem der vorstehenden Ansprüche 31 oder 33, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbindungselement gekühlt ist.

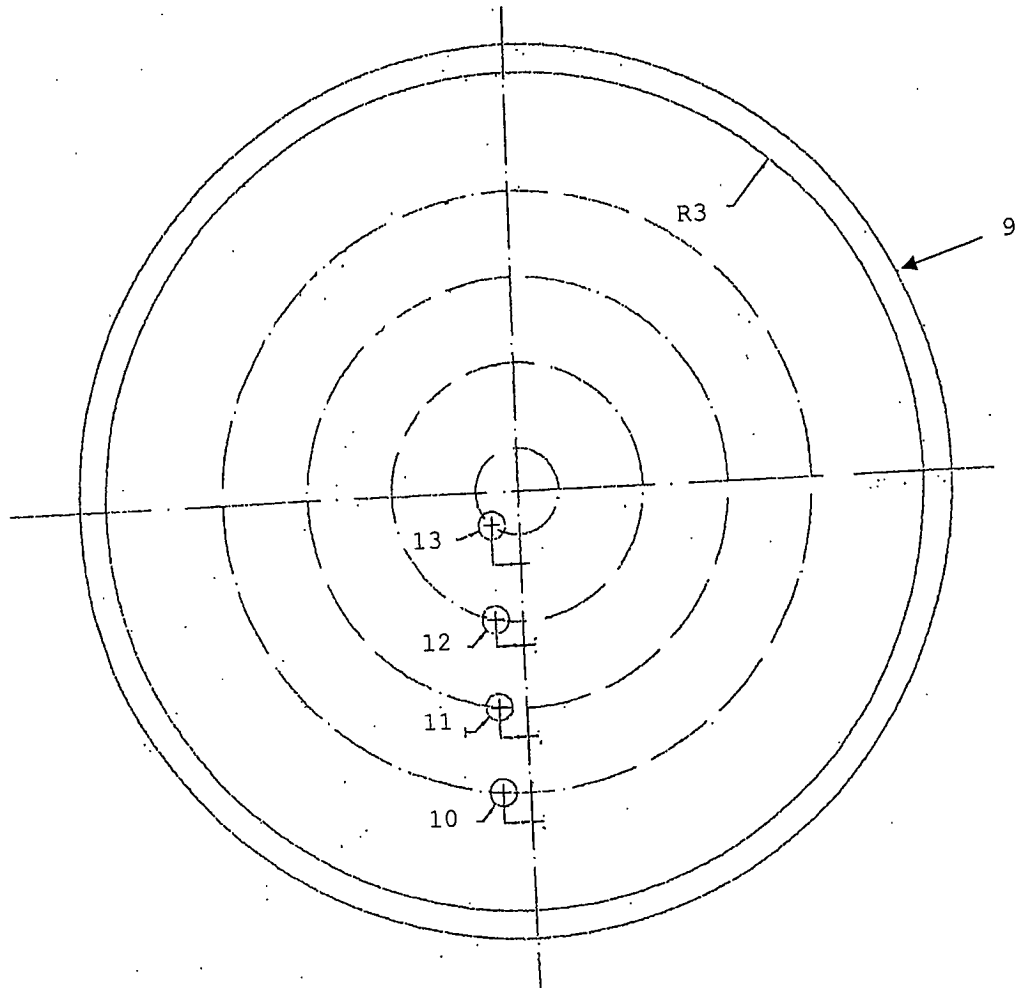
35. Skultiegel nach einem der Ansprüche 31 bis 34, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbindungselement zumindest in Teilbereichen ein Rohr oder eine Rinne aus Keramik oder Edelmetall umschließt.

36. Skultiegel nach Anspruch 35, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Rohr oder die Rinne in die Schmelze hinein ragt, wobei das gekühlte Verbindungselement das in die Schmelze hinein ragende Rohr oder die Rinne kühlt.

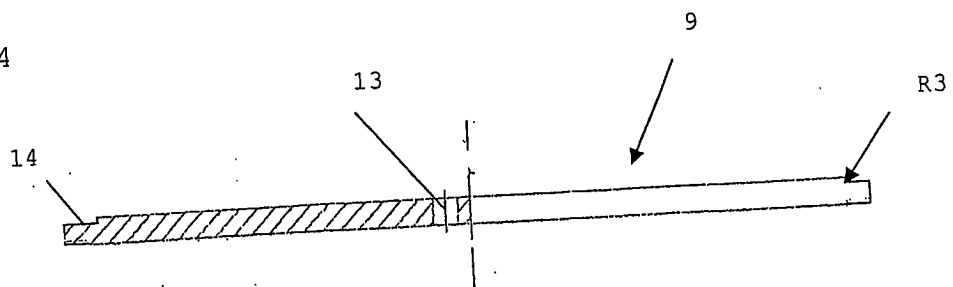
37. Skultiegel gemäß einem der vorstehenden Ansprüche 28 bis 36 **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verbindungselement durch den Boden oder die Wandung des Skultiegels hindurch verläuft.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

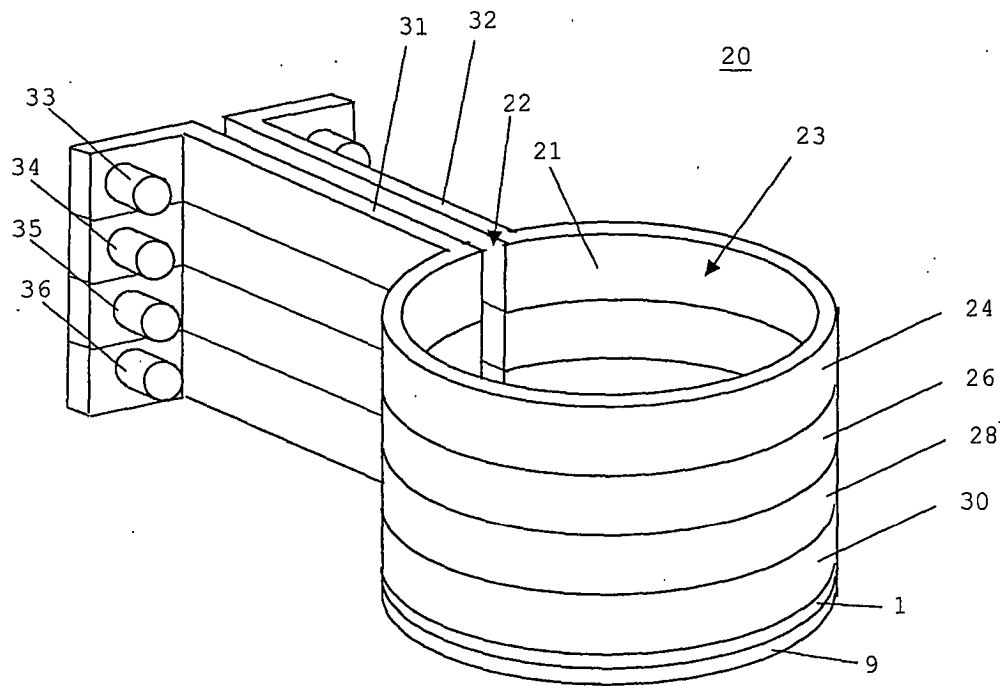
Figur 3



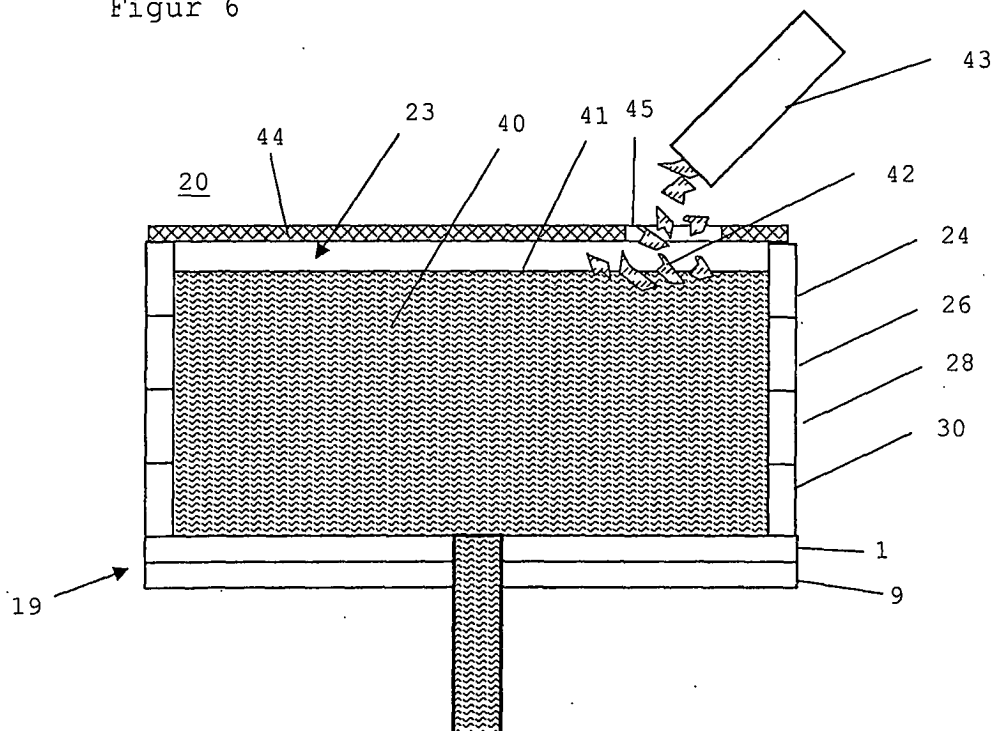
Figur 4



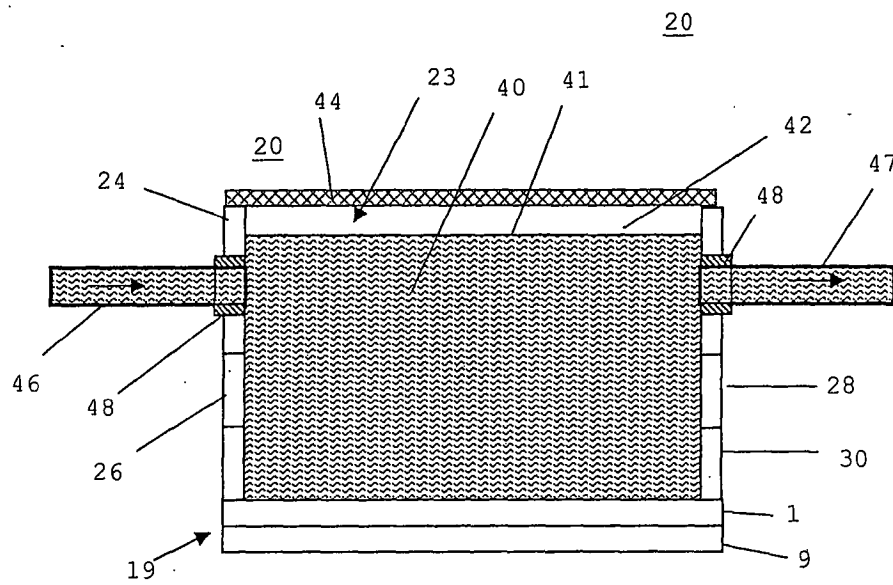
Figur 5



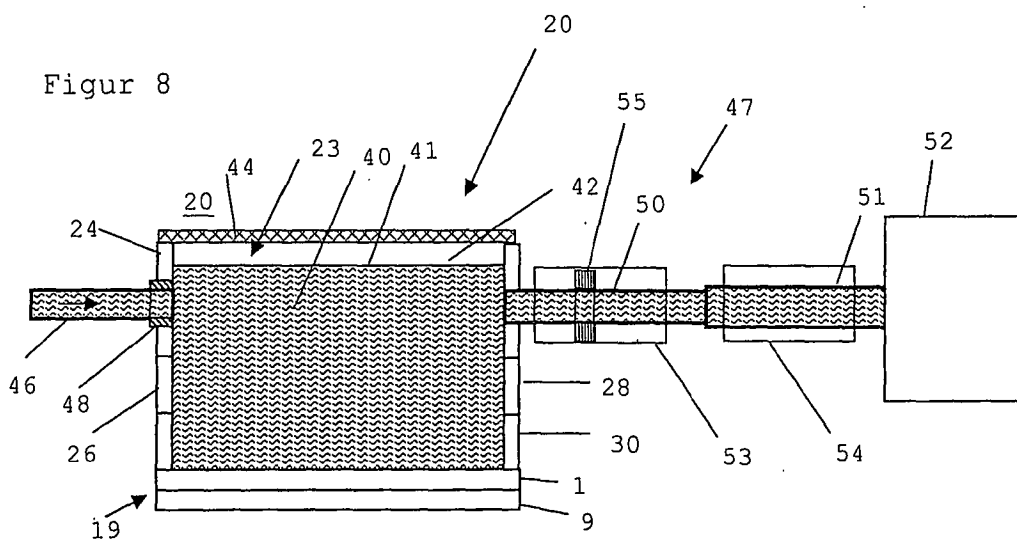
Figur 6



Figur 7



Figur 8



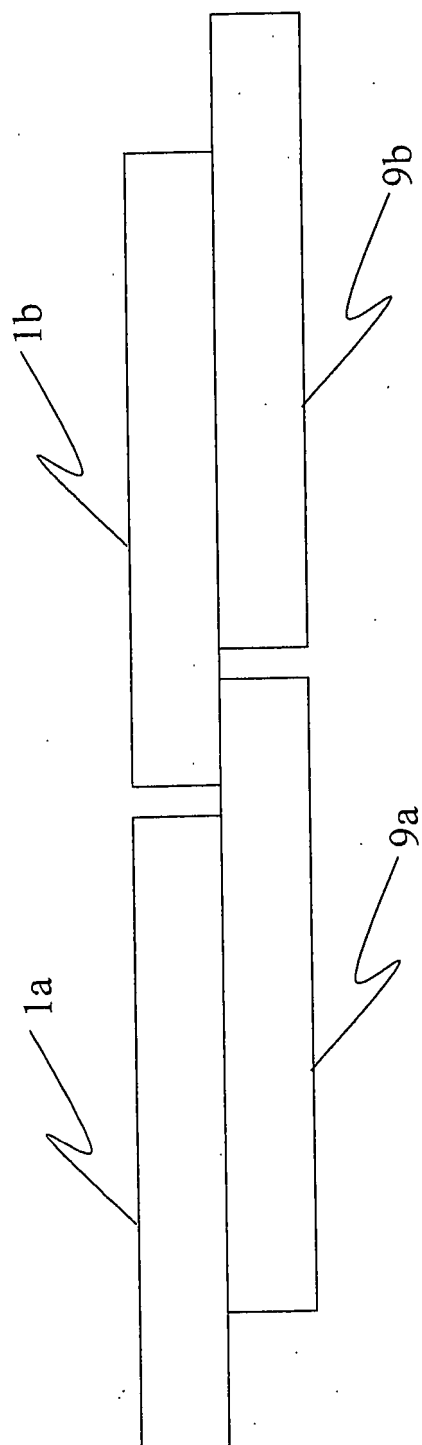


Fig. 9