



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 14 860 T2** 2004.03.11

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 996 521 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 14 860.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/11588**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 925 258.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/003626**

(86) PCT-Anmeldetag: **05.06.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **28.01.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.05.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **21.05.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.03.2004**

(51) Int Cl.⁷: **B22F 9/08**
B01J 2/18

(30) Unionspriorität:

892145	14.07.1997	US
931295	16.09.1997	US

(73) Patentinhaber:

Alpha Metals (Korea) Ltd., Sihung City, Kyunggi, KR

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, IE, IT, LI, NL, SE

(72) Erfinder:

TANG, Jie, Ann Arbor, US; HESS, B., Gary, Onsted, US; MUSZYNSKI, D., Mark, Manchester, US; GOEHRING, S., Thomas, Jackson, US

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG VON KUGELN MIT UNIFORMER GRÖSSE UND FORM**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Herstellung von gleich großen und gleichgestalteten Kugeln oder Kügelchen. In einer Hinsicht bezieht sich die Erfindung darauf gleichmäßig große Metallkugeln zur Verwendung in Lötmitteln zu erzeugen.

Technischer Hintergrund der Erfindung

[0002] Zum Ausbilden von Materialtröpfchen bekannter Größe wurden schon verschiedene Verfahren vorgeschlagen. Die vorliegende Erfindung ist eine Verbesserung des in der US-Patentschrift Nr. 5,266,098 Chun et al beschriebenen Verfahrens 089. Chun et al beschreibt das Aufbringen einer Ladung auf Tröpfchen in dem Bestreben gleichmäßig große Tröpfchen herzustellen. Das Chun et al Verfahren ergab aber einen hohen Prozentsatz nicht zweckdienlicher und unbrauchbarer Materialstücke oder Teilchen, die eine flache, länglich oder unregelmäßige Gestalt aufweisen. Das Chun et al Verfahren ist auf die Herstellung unregelmäßig gestalteter Tröpfchen beschränkt, die eine unerwünscht raue und höckerige Oberfläche aufweisen.

[0003] Andere früher schon vorgeschlagene Verfahren zur Herstellung von Tröpfchen durch Aufbringen einer Ladung auf die Tröpfchen umfassen Folgendes:

US-Patentschrift Nr. 5,60,543 Smith beschreibt ein Verfahren zum Herstellen von Tröpfchen und zum Durchleiten der Tröpfchen durch geladene und geerdete Platten, um die Tröpfchen selektiv abzulenken. Die sowjetische Patentschrift Nr. 541682039 A1 beschreibt die Ausbildung von Tröpfchen, die eine Ladung dadurch erhalten, dass sie ein elektrisches Feld durchlaufen. Die US-Patentschriften Nr. 5,171,360; 5,226,948; 5,259,593 und 5,340,090 Orme beschreiben Verfahren und Vorrichtungen zur Herstellung eines Nettoprodukts in der Weise, dass ein Strom gleichmäßig großer Tröpfchen auf einen Kollektor mit der Gestalt des jeweils gewünschten Produktes geleitet wird. Die C. H. Passow-Arbeit, The Massachusetts Institute of Technology (MIT) May 1992, beschreibt die Erzeugung gleichförmiger Tröpfchen durch Verwendung paralleler Platten, die oberhalb einer Ladungsaufbringungsplatte angeordnet sind, um selektiv einige Tröpfchen zu einer Seite hin abzulenken, wo sie aufgesammelt werden.

[0004] Zu verschiedenen anderen schon vorgeschlagenen Verfahren zur Ausbildung von Tröpfchen gehören: die US-Patentschrift Nr. 5,411,602 Hayes beschreibt das Auswerfen von Lötmetalltröpfchen aus einer Auswurfvorrichtung in einen Strom von Inertgas und Auffangen der verfestigten Lötmetallkugeln. Die US-Patentschrift Nr. 4,956,128 Hommel et al beschreibt eine wässrige Calciumchlorid-Härtelösung durch die Tröpfchen durchgeleitet werden; die

US-Patentschrift Nr. 4,744,821 Yabuki et al beschreibt das Ausbilden von Tröpfchen und das Durchleiten von Tröpfchen durch Schichten aus Öl und Wasser; die US-Patentschrift Nr. 4,302,166 Fulwyler et al beschreibt eine Tröpfchenbildevorrichtung, bei der die Tröpfchen in eine wässrige Lösung eines nicht ionischen oberflächenaktiven Mittels (Surfactantium) fallen; die US-Patentschrift Nr. 4,628,040 Green et al beschreibt die Ausbildung von Tröpfchen unter Verwendung eines Venturi-Verfahrens, bei dem die Tröpfchen zum Aushärten der Tröpfchen durch ein Öl durchgeführt werden; die US-Patentschrift 4,787,935 Eylon et al beschreibt ein Verfahren zum Herstellen von Pulvern unter Verwendung von wirbelnden, abkühlenden Fluiden zum Aushärten der Tröpfchen;; die US-Patentschriften 4,216,718 und 4,419,302 Anderson beschreiben die Bildung von Natriumamalgamteilchen für Hochdruckentladungslampen, wobei eine vibrierende Spritzdüse Tröpfchen bildet, die in ein Fluid fallen. Die US-Patentschrift 4,981,625 Rhim et al beschreibt die Ausbildung von Polymeren-Mikrokugeln durch Ausstoßen von Monomeren-Tröpfchen, Aufbringen einer Ladung auf die Tröpfchen, Einfrieren der Tröpfchen in einer kryogenen Flüssigkeit und Auftauen der Tröpfchen durch Bestrahlung um freie Radikale zu aktivieren, die das Polymere polymerisieren.

[0005] Die bekannten Tröpfchenbildungsverfahren sind aus einer Reihe von Gründen nicht ganz zufriedenstellend. Ein wesentliches Anliegen ist dabei die breite Verteilung der Teilchengröße der Tröpfchen. Miteinander unverträgliche Größen der Tröpfchen machen die Verwendung der Tröpfchen bei Anwendungsfällen zum Löten schwierig. Ein anderes Problem besteht darin, dass nach der Bildung der Tröpfchen die Tröpfchen gereinigt werden müssen, um Verunreinigungen oder Oxyde auf der Oberfläche zu entfernen oder Öle und andere Lösungsmittel wegzubringen, durch die die Tröpfchen durchlaufen lassen worden sind. Die Reinigung der Tröpfchen vergrößert die Herstellungszeit und die Herstellungskosten.

[0006] Ein anderer wesentlicher Nachteil besteht darin, dass die Tröpfchen eine unregelmäßige Gestalt und/oder eine höckerige oder raue Oberfläche aufweisen. Die fehlende Kugelform macht die Handhabung und Verwendung der einzelnen Tröpfchen schwieriger.

[0007] Deshalb ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung qualitativ hochwertiger Tröpfchen gleichförmiger Gestalt und Größe zu schaffen. Die vorliegende Erfindung schafft außerdem ein Verfahren, das nicht die Verwendung mehrfacher Herstellungsschritte und/oder Reinigungsschritte erforderlich macht.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0008] Die vorliegende Erfindung schafft ein sehr genaues Verfahren gemäß dem Anspruch 1 und eine

Vorrichtung entsprechend Anspruch 18 zum Erzeugen von Tröpfchen gleichförmiger Größe und Gestalt aus einem jeweils gewünschten Material oder aus jeweils gewünschten Materialien. Die Vorrichtung weist ein Kugelbildungsmittel und eine temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung auf. Die Kugeln werden unter Verwendung eines Mittels zur Herstellung gleichmäßiger Kugeln ausgebildet, wobei ein flüssiges Material niedriger Viskosität in einen Tiegel eingebracht wird. Der Tiegel weist Mittel zum Erwärmen und Schmelzen des Materials auf. Das flüssige Material niedriger Viskosität in dem Tiegel wird durch ein Anregungsaktuormittel einer bestimmten periodischen Störung unterworfen. Der Tiegel weist wenigstens eine Öffnung auf, die den Durchlass des Materials erlaubt. Auf das Material wird eine Druckdifferenz (vorzugsweise von 4 bis 50 psi) zur Einwirkung gebracht, die das Material stromförmig durch die Öffnung zwingt. Die auf das Material ausgeübte periodische Störung bewirkt ein kontrolliertes Aufbrechen des Materialstroms in Kugeln gleicher Größe. Bei der Bildung der Kugeln werden die Kugeln durch ein Auflademittel mit einer positiven oder negativen Ladung beaufschlagt. Wird das Auflademittel auf einer vorbestimmten Spannung bezüglich des Stromes gehalten, so bringt die Kombination der Spannung und der Kapazität zwischen dem Auflademittel und dem Strom eine Ladung auf eine in Strömungsrichtung vorne liegende Stelle des Stroms auf. Jede Kugel behält eine Ladung, die die Kugel vor dem Ausbrechen aus dem Strom trug. Die Ladung auf der jeweiligen Kugel bewirkt, dass jede Kugel von den benachbarten Kugeln abgestoßen wird. Die gleichen Ladungen auf den einzelnen Kugeln verhindern, dass die Kugeln im Flug mit benachbarten oder in der Nähe befindlichen Kugeln verschmelzen.

[0009] Der Strom wird dadurch aufgebrochen, dass kleine periodische Störungen (vorzugsweise von etwa 1 bis 30 KHz) durch die Anregungsaktuormittel eingeführt werden. Bei bestimmten Ausführungsformen weisen die Anregungsaktuormittel entweder einen elektromechanischen oder einen piezoelektrischen Wandler auf. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform enthält der Wandler einen Stapel von fünf piezoelektrischen Kristallen, die auf einem Oberteil des Tiegels angebracht sind. Die unten liegenden vier Kristalle sind mechanisch in Serie liegend miteinander verbunden und elektrisch parallel an eine sinusförmige Hochspannungsquelle angeschlossen. Der zuoberst liegende piezoelektrische Kristall dient als Bewegungssensor. Die Ausgangsspannung ergibt eine Anzeige der Amplitude der Anregungsbetätigungsmittel. Bei einer alternativen Ausführungsform kann die periodische Störung oder Anregung des Materials von einem monolithischen, mehrschichtigen, piezoelektrischen Anregungsaktor erhalten werden. Eine bevorzugte Ausführungsform des mehrschichtigen Aktuators weist folgende Abmessungen auf: Länge 5 mm, Höhe 5 mm und Breite 5 mm. Der mehrschichtige Aktuator enthält

etwa 29 miteinander verbackene, piezoelektrische keramische Schichten. Der mehrschichtige Aktuator kann sich über drei Mikron aufweiten. Bei bestimmten Ausführungsformen ist ein Verlängerungsmittel, wie eine Stange, am Boden der Anregungsaktuormittel befestigt und erstreckt sich in den Materialvorrat.

[0010] Die Anregungsaktuormittel übertragen die kleinen periodischen Störungen über die Stange in das Material.

[0011] Bei einer anderen Ausführungsform können die Anregungsaktuormittel ein piezoelektrisches, keramisches Material aufweisen, das eine Düse hat, die mit der Spannungsquelle verbunden ist. Die Düse weist ein festes Flächenverhältnis (Aspektverhältnis) auf, das die Öffnung in dem Tiegel definiert. Die sinusförmige Spannung ist unmittelbar an die Düse angelegt und erzeugt eine kleine periodische Störung, die über die Düsenwand in den Materialstrom austrahlt. In Betracht gezogen wird, dass bei bestimmten Hochtemperaturanwendungen (bei denen z. B. die Temperatur des niederviskosen, flüssigen Materials über 300°C liegt) ein Lithiumniobat (LiNbO_3)-material anstelle eines piezoelektrischen keramischen Materials verwendet werden kann.

[0012] Wenigstens ein Druckreglermittel liefert einen konstanten hydrostatischen Druck in dem Tiegel. Bei einer bevorzugten Ausführungsform erhält das Druckreglermittel vor dem Wirksamwerden des Kugelbildungsmittels einen negativen Druck aufrecht. Der negative Druck verhindert, dass das Material aus der Düse heraustropft. Bei einer bevorzugten Ausführungsform hält das Druckreglermittel den Tiegel während des Betriebs des Kugelbildungsmittels dadurch auf einem positiven Druck, dass es das niederviskose, flüssige Material in dem Tiegel auf einem gewünschten Niveau hält. Bei einer bevorzugten Ausführungsform gibt das Druckreglermittel ein trockenes und inertes Gas, wie Stickstoff, auf das niederviskose, flüssige Material in dem Tiegel auf. Der positive Druck zwingt das Material durch die Öffnung in dem Tiegel nach außen. Die Höhe des Druckes auf dem Material steuert den Strom des Materials durch die Öffnung. Während des Betriebs des Kugelbildungsmittels treibt der angelegte konstante positive Druck das Material aus der Düse und bildet den Strahl oder Strom. Die sinusförmige Frequenz des Anregungsaktuators überträgt eine kleine periodische Störung auf den Strom. Durch den Raleigh-Instabilitätseffekt baut sich die Störung wegen der Impulsenergie in dem Strom auf, wodurch der Strom in gleichmäßig große und gleichmäßig voneinander beabstandete Kugeln aufgebrochen wird. Der Abstand λ zwischen zwei benachbarten Kugeln ist eine Funktion der Strahlschwindigkeit v_j und der Anregungsfrequenz f ,

$$\lambda = v_j/f$$

[0013] Die vorliegende Erfindung verwendet ein Ablenkmittel, das in beabstandeter Zuordnung zu dem

Auflademittel steht. Das Ablenkmittel weist wenigstens einen Satz Ablenkflächen auf, die räumlich voneinander getrennt sind. An den Satz Ablenkflächen ist eine Hochspannung angelegt, um ein elektrisches Feld zwischen den Flächen zu erzeugen. Das Ablenkmittel erzeugt ein elektrisches Kraftfeld, durch das die Kugeln durchlaufen. Da die Kugeln geladen sind, lenkt das elektrische Feld die Kugeln abhängig von der Polarität ab. Das Ablenkmittel trennt die Kugeln in der rechtwinklig zu einem Mittelpunkt oder einer vertikalen Achse verlaufenden Ebene räumlich voneinander, wobei es außerdem ein Verschmelzen der Kugeln verhütet, wodurch die Größenkonsistenz zusätzlich aufrecht erhalten wird.

[0014] Der Ablenkungsweg der Kugeln ist eine Funktion der Größe und Geschwindigkeit der Kugeln, sowie der Ladung der Kugeln und der Stärke des Ablenkungsfeldes. Die größeren Kugeln verbleiben nahe der Mittelachse durch das Ablenkmittel, während die kleineren Kugeln weiter von der Mittelachse weg abgelenkt werden.

[0015] Ein visuelles Beobachtungssystem ist in beabstandeter Zuordnung zu der Öffnung in dem Tiegel angeordnet, um die Bildung der Kugeln zu überwachen und die Größe der Kugeln zu messen. Das visuelle Beobachtungssystem ist bei den bevorzugten Ausführungsformen betriebsmäßig mit dem Anregungsaktuatorsmittel so verbunden, dass die in das niederviskose, flüssige Material eingebrachte periodische Störung vergrößert oder verkleinert wird. Das visuelle Beobachtungssystem ist außerdem betriebsmäßig mit dem Ablenkmittel verbunden, das in Abhängigkeit von der von dem visuellen Beobachtungssystem gesammelten Information die Ladung auf den Kugeln vergrößert, aufrecht erhält oder verkleinert.

[0016] Die vorliegende Erfindung ist eine Verbesserung der Chung et al '098 Technologie, bei der die Tröpfchen nicht in einer temperaturgeregelten Umgebung erzeugt werden. Gemäß einem anderen Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung ist das Kugelbildungsmittel betriebsmäßig in einer Verfestigungsumgebung geregelter Temperatur angeordnet. Die Verfestigungsumgebung geregelter Temperatur erlaubt es, dass sich die Kugeln in einer kurzen Zeitspanne und in kleinem Abstand ausbilden. Außerdem bietet die Verfestigungsumgebung geregelter Temperatur eine geringere Gefahr der Ausbildung von Verschmutzungen etwa einer Oxidation auf der Oberfläche der Kugeln. Die temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung enthält wenigstens ein Wärmeübertragungsmedium, wie etwa ein kaltes oder verflüssigtes Gas. Das Wärmeübertragungsmedium schafft eine Verfestigungsumgebung, in der die Kugeln auf geregelte Weise abgekühlt und verfestigt werden. Bei bestimmten Ausführungsformen schafft die temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung einen Temperaturgradienten, der eine rasche Abkühlung der Kugeln in kontrollierter Weise gestattet so dass die sich bildenden Kugeln, zusätzlich zu einer gleichmäßigen Größe, eine konsistent runde oder

sphärische Gestalt aufweisen. Bei einer Ausführungsform, bei der eine Zink-Bleilegierung zur Ausbildung von Kugeln für Lötmittel verwendet wird, erstreckt sich der Temperaturgradient der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung von etwa Raumtemperatur bis -90°C (und bei bestimmten Ausführungsformen etwa 0°C) in einer an den Tiegel anschließenden oberen Kammer und von etwa -110 bis etwa -170°C in einer an einen Boden der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung anschließenden unteren Kammer. Bei anderen Ausführungsformen, bei denen verschiedene niederviskose, flüssige Materialien zu Kugeln geformt werden, werden die Temperaturen in der Verfestigungsumgebung so geregelt, dass sich die Kugeln sowohl schnell als auch gleichmäßig bilden. Die Temperaturen in der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung werden durch die Art des zur Verwendung kommenden Wärmeübertragungsmediums beeinflusst. Auch versteht es sich, dass verschiedene Wärmeübertragungsmedien, einschließlich verflüssigter Gase, Halogenkohlenstofffluide, Ammoniak, Wasser und Dampf in dem in Betracht gezogenen Rahmen der vorliegenden Erfindung liegen und dass die Temperaturen der Wärmeübertragungsmedien sich von etwa Raumtemperatur bis etwa -200°C erstrecken können, abhängig von der Art des zur Bildung der Kugeln verwendeten niederviskosen flüssigen Materials.

[0017] Bei Ausführungsformen, bei denen das niederviskose, flüssige Material ein Material enthält, das sich unter Wärmeabstrahlung verfestigt, beispielsweise Metallen, wie Kupfer und Stahl können verschiedene Arten von Wärmeübertragungsmedien verwendet werden, wobei die Wärmeübertragungsmedien bei unterschiedlichen Temperaturen zugeführt werden können. Beispielsweise bei Ausführungsformen, bei denen Titankugeln gebildet werden, kann das Wärmeübertragungsmedium ein erwärmtes Gas oder einen erwärmten Dampf enthalten.

[0018] Bei bestimmten Ausführungsformen hat es sich gezeigt, dass die Berührung der Kugeln mit einem schnell sich bewegendem oder strömendem Wärmeübertragungsmedium dazu führen kann, dass die Kugeln eine ungleichmäßige Gestalt erhalten. Deshalb ist es bei bestimmten Ausführungsformen zweckmäßig, dass eine so klein wie mögliche Strömung oder Bewegung des Wärmeübertragungsmediums vorhanden ist. Das in der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung vorliegende Wärmeübertragungsmedium ist im Wesentlichen in Ruhe oder unbewegt, so dass in der Regel keine Mediumsströmungen oder -ströme auftreten, die die sich bildenden Kugeln kontaktieren oder missgestalten.

[0019] Bei bestimmten Ausführungsformen weist die temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung eine ein erstes Wärmeübertragungsmedium enthaltende, erste oder gasförmige Umgebung und eine ein zweites Wärmeübertragungsmedium enthaltende zweite oder flüssige Umgebung auf. Bei anderen Ausführungsformen enthält die temperaturgeregelte

Verfestigungsumgebung die erste oder gasförmige Umgebung, ohne Verwendung der zweiten oder flüssigen Umgebung. Die vorliegende Beschreibung erläutert aber im Einzelnen die gasförmig/flüssige temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung, um ein volles Verständnis aller Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zu ermöglichen. Auch versteht es sich, dass alle Ausführungsformen in dem in Betracht gezogenen Rahmen der vorliegenden Erfindung liegen. Die Verwendung der gasförmigen/flüssigen temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung ist insbesondere bei der Bildung von Kugeln aus verhältnismäßig weichen oder verformbaren Materialien und bei der Bildung von Kugeln, die große Durchmesser aufweisen oder eine hohe latente Schmelzwärme haben (d. i. die Wärmemenge, die bei dem Übergang des Materials aus der flüssigen Phase in die feste Phase frei wird) besonders zweckmäßig.

[0020] Beim Austritt aus dem Ablenkmittel beginnen die Kugeln sich in der Weise zu verfestigen, dass sich zunächst auf der Außenoberfläche der Kugeln eine Haut oder Schale ausbildet. Bevor die Kugeln aus der gasförmigen Umgebungszone austreten, haben sich die Kugeln im wesentlichen verfestigt, d. h. die Schmelzwärme wurde von den Kugeln auf das gasförmige Wärmeübertragungsmedium übertragen oder ist abgestrahlt worden. Die Kugeln können immer noch eine hohe Temperatur aufweisen, die die Kugeln verformbar macht. Die Kugeln treten dann in die flüssige Umgebung ein, die vorzugsweise ein inertes flüssiges Material, wie einen Vorrat flüssigen Stickstoffs, enthält. Die flüssige Umgebung kühlt die Kugeln weiter ab, um die spezifische Wärme abzuführen und die Kugeln auszuhärten. Die flüssige Umgebung wirkt auch als Abfederungs- oder Dämpfungsmedium, um zu verhindern, dass sich die Kugeln durch Zusammenstöße miteinander oder mit den Wänden und dem Boden der oberen und der unteren Kammer mechanisch deformieren.

[0021] Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird ein flüssiges Material niedriger Temperatur sowohl in einen oberen Bereich, als auch in einen unteren Bereich der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung eingebracht. Die von dem oberen Bereich abgegebene Flüssigkeit niedriger Temperatur wird in die gasförmige Umgebung eingeführt und verdampft zumindest teilweise, wodurch die gasförmige Umgebung auf einer bevorzugten niedrigen Temperatur gehalten wird. Bei bestimmten Ausführungsformen wird in Betracht gezogen, dass die oben eingebrachte Flüssigkeit die nach unten fallenden Kugeln kontaktieren kann, um deren Abkühlung zu beschleunigen.

[0022] Bei einer bevorzugten Ausführungsform, weist der Bodenbereich der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung einen Trichter auf, der eine zweite oder flüssige Umgebung enthält. Die flüssige Umgebung federt die Kugeln vor dem Auftreffen der Kugeln auf dem Boden des Trichters ab. An den fertigen Kugeln brauchen keine weiteren Bearbeitungsschritte mehr vorgenommen zu werden, nachdem die

Kugeln den flüssigen Umgebungssumpf durchlaufen haben. Es besteht keine Notwendigkeit, irgendein Öl oder andere Materialien von der Oberfläche der Kugeln zu entfernen.

[0023] Innerhalb des betrachteten Rahmens der Erfindung liegt es auch, Änderungen der Betriebsparameter zur Bildung der Kugeln gleichmäßiger Größe zu überwachen und auf diese zu reagieren. Ein erstes Thermoelement misst die Temperatur im oberen Bereich der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung, während ein zweites Thermoelement die Temperatur am Boden der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung misst. Ein Differenzdrucksensor überwacht den Druck des Tiegels. Ein Datenaufnahme-/Regelsystem ist mit den Drucksensoren, den Thermoelementen, dem Kugelbildungsmittel und dem visuellen Beobachtungssystem betriebsmäßig verbunden. Das Datenaufnahme-/Regelsystem sammelt Druck- und Temperaturmessdaten und steuert das Kugelbildungsmittel. Das Datenaufnahme-/Regelsystem und das visuelle Beobachtungssystem schaffen die Möglichkeit, die Größe der sich bildenden Kugeln aktiv zu steuern. Die Größe der jeweiligen Kugeln wird durch das visuelle Beobachtungssystem gemessen. Das Datenaufnahme-/Regelsystem erhält eine kontinuierliche und jeweils auf den neuesten Stand gebrachte Information über den Tiegeldruck und die von dem Anregungsaktuatorsmittel abgegebene Frequenz, so dass der Kugeldurchmesser auf einer vorbestimmten Größe gehalten wird. Zu bemerken ist, dass die tatsächlich Größe der erzeugten Kugeln von den Erfordernissen des Endverbrauchs abhängt.

[0024] Bei der vorliegenden Erfindung sind die Kugelbildung und die Steuerung der Kugelgestalt und des Kugeldurchmessers im Bereich von Mikrometern (Mikron) genau. Die Kugeln haben Durchmesser, die innerhalb von etwa 1% untereinander genau sind. Die vorliegende Erfindung ist auch in soweit eine weitere Verbesserung der Chung et al. '098 Technologie, dass die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Kugeln eine im Wesentlichen sphärische und glatte Oberfläche aufweisen. Die Kugeln haben ein hohes Maß an Kugelformhaltigkeit, wobei die Durchmesser bei jedem Kugelquerschnitt sich um weniger als etwa 1% voneinander unterscheiden.

[0025] Das Verfahren und die Vorrichtung gemäß der Erfindung sind zur Bildung von Kugeln gleichmäßiger Größe und Gestalt zweckmäßig, die einen Durchmesser aufweisen, der sich von etwa 12 bis etwa 1000 Mikron erstreckt. Die vorliegende Erfindung ist besonders zweckmäßig zur Bildung von großen Kugeln, die einen Durchmesser von größer als etwa 500 und bei bestimmten bevorzugten Ausführungsformen etwa 760 Mikron (.030 inches \pm .0003) aufweisen. Die umschlossene temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung steuert die Übergangsgeschwindigkeit von dem flüssigen Zustand in den festen Zustand der Kugel. Das Volumen und das Oberflächenverhältnis der sich bildenden Kugeln beein-

flusst den Abkühlungsvorgang der Kugeln. Die Kugeln größeren Durchmessers werden in der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung in gesteuerter Weise so verfestigt, dass die Kugeln eine im Wesentlichen runde und glatte Oberfläche behalten und eine gleichmäßige Gestalt aufweisen.

[0026] Die Betriebsparameter, einschließlich des Öffnungsdurchmessers, der Frequenz und der Amplitude der periodischen Störungen, der Kugeln können so verändert werden, dass Kugeln mit unterschiedlichen Durchmessern gebildet werden können. Dazu ist zu bemerken, dass der optimale Durchmesser der Kugeln teilweise von der Art der jeweils auszubildenden Kugel abhängt. Andere Parameter, wie das Maß des Einbringens des Metalls in den Tiegel, der Tiegeldruck, die Temperatur des Kugeln bildenden Materials und die Größe der Ladung auf den Kugeln beeinflussen auch die Größe und die Bildungsgeschwindigkeit der Kugeln gleichmäßiger Größe und Gestalt.

[0027] Zu bemerken ist, dass die Temperatur des niederviskosen, flüssigen Materials selbst den thermischen Zustand der Kugeln beeinflusst. Bei bestimmten Ausführungsformen kann die Temperatur des Materials von etwa gerade über dem Schmelzpunkt aus sich ändern, während sie bei anderen Ausführungsformen beispielsweise bei etwa 50°C oberhalb des Schmelzpunktes des Materials liegen kann. Dieser Unterschied der Materialtemperatur beeinflusst die Bildungsrate der festen Kugeln. Ein anderer Parameter, der bei bestimmten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verändert werden kann, ist die "Wegstrecke" (stand-off distance) zwischen dem Kugelbildungsmittel und dem Zeitpunkt, zu dem sich die jeweilige Kugel verfestigt.

[0028] Die vorliegende Erfindung ermöglicht es den Kugeln, sich schneller zu verfestigen, als in einer üblichen Tröpfchenbildungsvorrichtung. Bei bevorzugten Ausführungsformen wandern die Kugeln durch die abgeschlossene temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung während etwa 0,5 bis 1,5 Sekunden nach unten bevor sie auf dem Boden der umschlossenen Umgebung auftreffen. Die umschlossene temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung erlaubt die Ausbildung der Kugeln auf einem wesentlich kürzeren Weg (etwa 1 bis 5 Meter im Gegensatz zu 10 bis 20 Meter, wie sie sich bei bekannten Kugehbildungsvorrichtungen finden) und in einer wesentlich kürzeren Zeit etwa 0,5 bis 1,5, vorzugsweise (etwa 0,8 Sekunden im Gegensatz zu 7 bis 10 Sekunden).

[0029] Die Bildung der Kugeln in der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung ermöglicht die Bildung der Kugeln im Wesentlichen ohne Verunreinigung oder Oxidation. Die Kugeln werden aus einem niederviskosen Fluid, einschließlich beispielsweise Glassorten, keramischen Materialien und Metallen gebildet. Bei bestimmten Ausführungsformen liegt es innerhalb des Rahmens der vorliegenden Erfindung, dass die Kugeln aus einer großen Vielfalt von Metallen, einschließlich Zinn/Blei Lötlegierungen, Gold,

Aluminium, Stahl oder Kupferlegierungen zu bilden. Außerdem können die Kugeln mit Edelmetallen, wie Silber, Gold oder Palladium plattiert oder mit organischen Überzügen beschichtet werden, um eine Oxidation nach der Bildung zu verhüten. Die Kugeln sind insbesondere auf solchen Anwendungsgebieten wie als Lötmittel zur Verbindung von integrierten Schaltkreisen mit gedruckten Leiterplatten, insbesondere Kugelgittergruppen (ball-grid-arrays) Chip-Scale-Packungen, and Flip-Chip-Packungen verwendbar.

[0030] Bei bestimmten Ausführungsformen sind die erfindungsgemäß gebildeten Kugeln insbesondere für eine Lötmittelezusammensetzung brauchbar, wobei die Kugeln keine zusätzlichen Flussmittel benötigen, um eine Oxidbildung auf der Kugeloberfläche zu verhüten.

[0031] Wenngleich hier gewisse bevorzugte Ausführungsformen dargestellt und beschrieben worden sind, so ist doch zu bemerken, dass die Erfindung darauf nicht beschränkt ist, sondern innerhalb des Schutzbereiches der nachfolgenden Patenansprüche ausgeführt werden kann.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0032] **Fig. 1** ist eine schematische Veranschaulichung einer Vorrichtung gemäß der Erfindung zur Erzeugung von Kugeln gleichförmiger Größe und Gestalt,

[0033] **Fig. 1A** ist eine vergrößerte Ansicht eines Teiles der **Fig. 1**,

[0034] **Fig. 2** ist eine wesentlich vergrößerte Querschnittsdarstellung von Kugeln beim Abkühlen der Kugeln.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0035] Bezugnehmend auf die Zeichnung ist dort eine Vorrichtung zur Bildung von Kugeln gleichförmiger Größe und Gestalt in grundsätzlicher Weise veranschaulicht. Die Vorrichtung weist wenigstens ein Kugelbildungsmittel **12** und eine umschlossene temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung **14** auf. Das Kugelbildungsmittel **12** weist im Wesentlichen einen Tiegel **20** und ein Anregungsaktuatormittel **50** auf. Der Tiegel **20** verfügt über einen oberen Bereich **22**, der im Abstand von einem Bodenbereich **24** angeordnet ist. Der Tiegel **20** begrenzt einen umschlossenen Raum **26**, der einen Vorrat eines niederviskosen, flüssigen Materials **28** enthält. Bei bestimmten Hochtemperaturanwendungsfällen ist der Tiegel **20** aus einem keramischen Material hergestellt. Die Temperatur im Inneren des Tiegels **20** wird durch einen Thermoelementfühler **25** und einen Temperaturregler **27** überwacht, die betriebsmäßig mit einem Heizmittel **29** verbunden sind. Das Heizmittel **29** hält das Material **28** auf einer Temperatur oberhalb dessen Schmelzpunktes. Der Tiegel **20** ist über ein Anschlussmittel **32** und einen Anschlusseinlass **34** mit einem Druckreglermittel **30** verbunden. Der Druck in

dem Tiegel **20** wird von dem Druckwandler **36** überwacht, der nahe dem Einlass **34** angeordnet ist. Der Druck in dem Tiegel **20** wird von dem Druckreglermittel **30** eingestellt. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegt es, dass das Druckreglermittel **30** den Tiegel **20** mit einem positiven Druck eines Inertgases, wie Stickstoff, beaufschlagen kann.

[0036] Der Tiegel **20** weist ein Abschlussteil **40** mit einer Düse **42** auf, die lösbar an dem Bodenbereich **24** angebracht ist. Die Düse **42** ist im Wesentlichen in der Mitte des Abschlussteils **40** befestigt. Die Düse begrenzt wenigstens eine Austritts- oder Düsenöffnung **44**. Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist die Austrittsöffnung **44** einen Innendurchmesser in dem Bereich von etwa **12** bis etwa **1000** Mikron auf. Es liegt im Rahmen der vorliegenden Erfindung, dass die Düse **42** mehr als eine Austrittsöffnung **44** aufweisen kann. Zur Erleichterung der Veranschaulichung wird aber lediglich eine Austrittsöffnung im Detail erläutert. Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird eine Saphirdüse eingesetzt, die unter Verwendung eines hochtemperaturfesten, keramischen Materials an dem Abschlussteil **40** betriebsmäßig angebracht werden kann. Bei anderen Ausführungsformen kann eine Keramikdüse verwendet werden. Die Düse **42** ist in ein konisches Fitting in der Mitte des Abschlussteils **40** eingepasst. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Düse **42** an dem Abschlussteil **40** unter Verwendung beispielsweise einer gesicherten Gegenmutter befestigt.

[0037] Das Anregungsaktuormittel **50** beaufschlagt das niederviskose, flüssige Material **28** mit einer periodischen Störung. Bei der dargestellten Ausführungsform weist das Anregungsaktuormittel **50** einen Stapel **52** piezoelektrischer Kristalle **54** auf, die mit dem oberen Bereich **22** des Tiegels **20** betriebsmäßig verbunden sind. Bei einer bevorzugten Ausführungsform enthält der piezoelektrische Stapel **52** wenigstens 5 piezoelektrische Kristalle **54A**, **54B**, **54C**, **54D** und **54E**. Die zuunterst liegenden vier Kristalle **54B**, **54C**, **54D**, **54E** sind mechanisch in Reihe liegend miteinander verbunden und elektrisch parallel an eine sinusförmige Hochspannungsquelle **56a** angeschlossen. Der zuoberst liegende piezoelektrische Kristall **54A** dient als Bewegungssensor.

[0038] Die Ausgangsspannung des Bewegungssensors **54A** liefert eine Anzeige für die Amplitude des Anregungsaktuormittels **50**. Ein Verlängerungsmittel **56b**, etwa ein Rührstab, ist an der Unterseite des Piezostapels **52** befestigt. Die Anregung des Piezostapels **52** wird über das Verlängerungsmittel **56b** auf das Material **28** übertragen.

[0039] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegt es auch, dass das Anregungsaktuormittel **50** einen (nicht dargestellten), monolithischen, mehrschichtigen Piezoaktuator aufweist, der beispielsweise **25** bis **30** und bei bestimmten bevorzugten Ausführungsformen **29** Schichten aus miteinander verbackener (cofired) piezoelektrischer Keramik enthält, dessen Abmessungen etwa $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$

betragen und der einer Aufweitung oder Auswanderung von über **3** Mikron fähig ist. Bei einer alternativen Ausführungsform kann die Anregung des Materials **28** durch Verwendung eines piezoelektrischen Keramikmaterials als Düsenmaterial erzielt werden. Es wird dann eine sinusförmige Spannung unmittelbar an die Düse angelegt, die eine periodische Störung in der Düse hervorruft.

[0040] Bei gewissen Ausführungsformen weist das Druckreglermittel **30** eine Vakuumpumpe **60** auf, die über einen Einlass **61** betriebsmäßig mit dem oberen Bereich **22** des Tiegels **20** verbunden ist. Die Vakuumpumpe **60** hält den Tiegel **20** vor der Bildung der Kugeln auf einem negativen Druck. Der negative Druck verhindert, dass das Material **28** zeitlich vor dem Wirksamwerden des Kugelbildungsmittels **12** durch die Düse **42** nach außen tritt.

[0041] Während des Betriebes der Kugelbildungsvorrichtung **10** zwingt eine Konstantdruckbeaufschlagung von dem Druckreglermittel **30** das Material **28** aus der Düse **42** heraus und in die temperaturgeregelter Verfestigungsumgebung **14** hinein. Das Material **28** bildet dabei einen gleichförmigen, laminaren Materialstrahl oder -strom **70**. Die Anregung von dem Anregungsaktuormittel **50** ruft eine periodische Störung des Stroms **70** hervor. Wegen des Phänomens, des Rayleigh-Instabilitätseffektes wird der Strom **70** in Kugeln **72** gleichmäßiger Größe und gleichmäßiger gegenseitiger Abstände aufgebrochen.

[0042] An das Tiegelabschlussteil **40** ist ein Aufladesystem **80** angeschlossen. Der Abstand zwischen dem Aufladesystem **80** und dem Abschlussteil **40** kann abhängig von den jeweils gewünschten Betriebsparametern eingestellt werden. Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann das Aufladesystem **80** aus einem Aluminiummaterial bestehen.

[0043] An das Aufladesystem **80** ist eine Hochspannung von einer Spannungsquelle **82** angelegt. Beim Durchgang durch eine Öffnung **84** in dem Aufladesystem bricht der Strom **70** in die Tröpfchen **72** auseinander. Das Aufladesystem **80** bringt eine Ladung auf den Strom **70** auf. Bei der Bildung der Kugeln **72** behalten die Kugeln **72** diese Ladung. Die Ladung auf den Kugeln **72** erzeugt eine Kraft zwischen benachbarten Kugeln **72** und verhindert, dass die Kugeln **72** miteinander verschmelzen.

[0044] Die geladenen Kugeln **72** laufen durch die abgeschlossene, temperaturgeregelter Verfestigungsumgebung **14**, die bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel eine erste oder gasförmige Umgebung **102** und eine zweite oder flüssige Umgebung **122** aufweist.

[0045] Bei der dargestellten Ausführungsform weist die abgeschlossene, temperaturgeregelter Verfestigungsumgebung **14** eine obere Kammer **90** und eine untere Kammer **100** auf. Bei bestimmten Ausführungsformen ist die obere Kammer **90** auf einer ersten Temperatur und die untere Kammer **100** auf einer zweiten Temperatur gehalten. Die erste und die zwei-

te Temperatur definieren einen Temperaturgradienten in der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung **14**. Bei einer Ausführungsform, bei der die sich bildenden Kugeln aus einer Zinn/Bleilegierung bestehen, ist es zweckmäßig, dass die erste Temperatur in der oberen Kammer **90** zwischen etwa Raumtemperatur und etwa -90°C (bei bestimmten Ausführungsformen bei etwa 0°C) liegt, während die zweite Temperatur in der unteren Kammer **100** zwischen etwa -110°C und etwa -170°C liegt.

[0046] Das Kugelbildungsmittel **12** ist in der oberen Kammer **90** durch eine Trägerschiene **92** gehalten. Die obere Kammer **90** ist abgedichtet auf die untere Kammer **100** aufgesetzt. Die obere Kammer **90** steht mit der unteren Kammer **100** derart in Verbindung, dass die untere Kammer **90** und die obere Kammer **100** eine erste oder gasförmige abgeschlossene Umgebung **102** begrenzen. Die obere Kammer **90** weist wenigstens einen Bereich **94** auf, der transparent ist. Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist die obere Kammer **90** ein Acrylmaterial auf, das beispielsweise die Abmessungen von etwa $12 \times 12 \times 24$ inches (1 inch = 25,4 mm) hat. Ein visuelles Beobachtungssystem **98** ist neben dem transparenten Abschnitt **94** der oberen Kammer **90** angeordnet. Das visuelle Beobachtungssystem **98** überwacht die Bildung der Kugeln **72** und misst die Kugelgröße während die Kugeln an dem visuellen Beobachtungssystem **98** vorbeilaufen.

[0047] Die untere Kammer **100** weist wenigstens eine Wand **104** und einen Bodenabschnitt **106** auf. Bei bestimmten Ausführungsformen ist die untere Kammer **100** vorzugsweise aus einem CPVC-Rohrmaterial hergestellt und weist vorzugsweise einen Innendurchmesser von 14 Inches auf. Die untere Kammer **100** enthält ein Ablenkmittel **110**. Bei der dargestellten Ausführungsform weist das Ablenkmittel **110** zwei Ablenkplatten **112**, **114** auf. Die Platten **112**, **114** haben jeweils eine Abstoß- oder Ladungsübertragungsfläche **112'** bzw. **114'**. Der Abstand zwischen den einander benachbarten Platten **112**, **114** definiert eine Öffnung **118**, durch die die geladenen Kugeln **72** durchgehen. Die anziehenden oder abstoßenden Flächen **112'**, **114'** bestehen vorzugsweise aus einem gut leitenden Material, wie Kupfer, Aluminium, Stahl oder dergleichen und haben bei bestimmten Ausführungsformen eine Länge von etwa 150 mm bis etwa 400 mm. Die Öffnung **118** zwischen den Flächen **112'**, **114'** beträgt etwa 10 bis 40 mm. Zu bemerken ist, dass bei anderen Ausführungsformen diese Längen und Abstände wenigstens teilweise von der Art des niederviskosen, flüssigen Materials, der Größe der zu erzeugenden Kugeln und von anderen Betriebsparametern abhängen. Während die Kugeln **72** nach unten wandern, laufen die Kugeln durch das Ablenkmittel **110** durch. An das Ablenkmittel **110** ist eine Hochspannung einer Spannungsquelle **116** angelegt. Die Hochspannung erzeugt ein elektrisches Feld zwischen den Platten **112**, **114**. Da die Kugeln

72 geladen sind, zieht das elektrische Feld die Kugeln **72** entweder an oder es stößt sie ab. Die Ablenkweite der Kugeln ist eine Funktion der Ladung, Größe und Geschwindigkeit der Kugeln. Die größeren Kugeln wandern auf einem Weg näher einer Mittelachse durch das Ablenkmittel **110**, während kleinere Kugeln von der Mittelachse des Ablenkmittels **110** weg abgelenkt werden.

[0048] Der Bodenabschnitt **106** der unteren Kammer **100** enthält die flüssige Umgebung **122**. Bei bevorzugten Ausführungsformen enthält der Bodenabschnitt **106** einen aus einem Edelmateriale hergestellten Trichter **124**. An einem Bodenbereich **128** des Trichters **124** ist ein kryogenes Ventil **126** angeordnet. Durch Öffnen des Ventils können die Kugeln **72** in dem Trichter **124** eingesammelt und entnommen werden.

[0049] Die untere Kammer **100** enthält ein erstes oder oberes Wärmeübertragungsmediumseingabemittel **130**, das an einem oberen Bereich **132** der unteren Kammer **100** angeordnet ist. Das Eingabemittel **130** weist bei einer bevorzugten Ausführungsform ein Kupferrohr **134** auf, das sich neben der Wand **104** der unteren Kammer **100** ringsum erstreckt. Das Kupferrohr **134** weist eine Reihe von Öffnungen **136** auf, die radial durch das Rohr **134** verlaufen. Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die Öffnungen **136** längs des Kupferrohrs **134** im Wesentlichen gleichmäßig voneinander beabstandet. Die Öffnungen **136** ermöglichen die Einführung eines ersten Wärmeübertragungsmediums **138** in die untere Kammer **100**. Da die untere Kammer **100** mit der oberen Kammer **90** in Verbindung steht, kühlt das Wärmeübertragungsmittel **138** sowohl die obere Kammer **90** als auch die untere Kammer **100**. Bei Ausführungsformen bei denen das Wärmeübertragungsmedium **138** flüssigen Stickstoff enthält, hält das Wärmeübertragungsmedium die Temperatur in der gasförmigen, abgeschlossenen Umgebung **102** unter etwa -80° bis etwa -170°C .

[0050] Bei der dargestellten Ausführungsform weist die untere Kammer **100** auch ein zweites oder unteres Wärmeübertragungsmediumszufuhrmittel **140** auf, das neben aber im Abstand zu dem Trichter **124** angeordnet ist. Der Trichter **124** ist mit einer vorbestimmten Menge eines zweiten Wärmeübertragungsmediums **144** gefüllt. Zu bemerken ist, dass das erste und das zweite Wärmeübertragungsmedium das gleiche Material oder verschiedene Materialien sein können, z. B. ein verflüssigtes Gas, wie Stickstoff und/oder ein flüssiger Halogenkohlenwasserstoff.

[0051] Der Vorrat des zweiten Wärmeübertragungsmediums **144** definiert eine zweite oder flüssige Umgebung **122**. Die temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung **14**, die bei der dargestellten Ausführungsform die gasförmige Umgebung **102** und die flüssige Umgebung **122** enthält, erlaubt es den Kugeln **72** sich zu verfestigen, bevor sie den Boden **128** des Trichters **124** berühren. Die Schmelzwärme wird in der gasförmigen Umgebung **102** abgeführt. Die spe-

zifische Wärme wird in der flüssigen Umgebung **122** abgeführt. Die flüssige Umgebung **122** in dem Trichter **124** federt oder dämpft die Kugeln **72** ab, bevor die Kugeln **72** mit dem Trichter **124** in Berührung kommen.

[0052] Bei der dargestellten Ausführungsform überwacht ein erstes Thermoelement **150** die Temperatur der oberen Kammer **90**, während ein zweites Thermoelement **154** die Temperatur der unteren Kammer **100** überwacht, derart, dass die gasförmige Umgebung **102** und die flüssige Umgebung **122** jeweils auf einer bevorzugten Kugelverfestigungstemperatur bleiben. Zu bemerken ist jedoch, dass noch zusätzliche Thermoelemente dazu verwendet werden können, den Temperaturgradienten in der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung **14** zu überwachen. Vor Inangsetzung des Kugelbildungsmittels **12** werden die temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung **14** jeweils und der Tiegel **20** mit einem trockenen inerten Gas gespült. In der Kammer **100** ist ein Sauerstoffgehaltwächter **160** angeordnet, der den Sauerstoffgehalt während des gesamten Betriebes der Kugeln gleichförmige Größe bildenden Vorrichtung **10** überwacht. Ein Entlastungsventil **162** führt von der abgeschlossenen Verfestigungsumgebung **14** nach außen, um in der temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung **14** jeweils einen gewünschten Druck und eine gewünschte Menge Wärmeübertragungsmedium zu haben.

[0053] Im Betrieb ist die Ausflussöffnung **44** der Düse **42** auf die Öffnung **84** in dem Aufladesystem **80** ausgerichtet.

[0054] Das Aufladesystem **80** bringt eine Ladung auf den Materialstrom **70** auf. Bei der Bildung der einzelnen Kugeln **72** und deren Losbrechen aus dem Strom **70** behält jede Kugel **72** einen Teil der Ladung. Wenn sich die geladenen Kugeln **72** nach unten bewegen, laufen die Kugeln zwischen oder neben den Aufladeplatten **112**, **114** des Ablenkmittels **110** durch.

[0055] Wenn die Auflade- oder Abstoßflächen **112'**, **114'** auf einer vorbestimmten, jeweils gewünschten Spannung gehalten sind, bringt das in der Öffnung **118** erzeugt elektrische Feld eine weitere Ladung auf die Kugeln **72** auf. Die Kugeln **72** verbleiben in einem vorbestimmten, Abstand voneinander und von den Auflade- oder Abstoßflächen **112'**, **114'**. Diese Abstoßkraft ist in grundsätzlicher Weise durch die Pfeile in **Fig. 2** angedeutet. Beim Nachuntenwandern der einzelnen Kugeln **72** wird die jeweils vorauslaufende Kugel abgestoßen und zwar nicht nur von den nachfolgenden Kugeln **72**, sondern sie wird auch von den Seiten der Aufladeflächen **112'**, **114'** abgestoßen, wodurch die gleichgeladenen Kugeln davon abgehalten werden, miteinander zu verschmelzen.

[0056] Zu Bemerken ist, dass abhängig von dem Endgebrauchszweck der zu bildenden Kugeln, verschiedene geeignete Materialien verwendet werden können. Die tatsächliche Ladung auf der jeweiligen Kugel ist eine Funktion nicht nur der Art des verwendeten Metalls, sondern auch von dem Durchmesser

der Kugeln, sowie von der elektrischen Spannung zwischen den Aufladeplatten **112**, **114** und den Kugeln **72**. Eine Ladung in der Größenordnung von 10^{-7} Coulomb-Gramm auf der jeweiligen Kugel **72** ist zweckmäßig. Es versteht sich aber, dass auch andere Ladungen ebenso zweckmäßig sein können und dass die Ladungen von den verschiedenen, oben erörterten Parametern abhängen.

[0057] Die geladenen Kugeln **72** verfestigen sich während ihres Absinkens durch die gasförmige Umgebung **102** und werden vor der Berührung mit der flüssigen Umgebung **122** vollständig verfestigt. Wie aus **Fig. 2** zu ersehen, bilden die Kugeln **72** zunächst einen Hautbereich **172** aus, der einen geschmolzenen Bereich **174** abschirmt. In dem Maß, in dem die Kugeln **72** nach unten gehen und sich verfestigen, wird der Hautbereich **172** dicker, bis der geschmolzene Bereich **174** vor der Berührung der jeweiligen Kugel **72** mit dem Trichter **124** verschwindet. Zu bemerken ist außerdem, dass die erfindungsgemäße Kugelbildungsvorrichtung **10** mit einem Datenaufnahme/Regelsystem **180** betriebsmäßig verbunden ist, das dazu dient, Daten zu sammeln und zu messen und die Kugelbildungsvorrichtung zu steuern. Das Datenaufnahme/Regelsystem **180** misst auch die Ausgangsspannung der Thermoelemente und der Druckwandler. Das Datenaufnahme/Regelsystem **180** ist außerdem mit dem visuellen Beobachtungssystem **98** betriebsmäßig verbunden, um die Möglichkeit zu schaffen, die Bildung der Kugeln aktiv zu steuern. Während des Betriebes der Vorrichtung **10** werden die Größe und die Gestalt der sich bildenden Kugeln gemessen. Das Datenaufnahme/Regelsystem **180** verändert den Tiegeldruck und die von dem Anregungsaktuatorsmittel **50** erzeugte Frequenz so, dass die Kugelgröße und -gestalt auf einem vorbestimmten, jeweils gewünschten Durchmesser gehalten werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Kugeln gleichmäßiger Größe und Gestalt das die Schritte aufweist: Bereitstellen eines Vorrats eines niederviskosen flüssigen Materials (**28**) in einem Tiegel (**20**); Einwirken lassen einer kleinen periodischen Störung auf das niederviskose Material in dem Tiegel; Beaufschlagen des niederviskosen, flüssigen Materials mit einem Druck, wobei der Druck das Material als kontinuierlichen laminaren Strom durch wenigstens eine Öffnung (**44**) des Tiegels zwingt, wobei der Materialstrom in eine abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung (**14**) austritt (und) die abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung wenigstens ein Wärmeübertragungsmedium (**102**) enthält; Aufbringen einer Ladung auf den Strom (**70**) des Materials beim Austreten des Stroms aus der Öffnung und bei dessen Aufbrechen in eine Vielzahl von Kugeln (**72**);

Durchführen der geladenen Kugeln durch ein elektrisches Feld um die Kugeln abzulenken; und Durchlaufen lassen der Kugeln durch das Wärmeübertragungsmedium (102) in der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung, um die Kugeln abzukühlen und sie zu verfestigen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Wärmeübertragungsmedium in der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung (14) einen Wärmegradienten ausbildet.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die abgeschlossene temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung eine erste oder gasförmige Umgebung (102) enthält, durch die die geladenen Kugeln durchlaufen lassen werden, wobei die erste oder gasförmige Umgebung ein erstes Wärmeübertragungsmedium (138) enthält, das einen Spray aus Kühlfluid, verflüssigtem Gas oder Halogenkohlenwasserstoff enthält, der in der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung verdampft und die Schmelzwärme von den Kugeln absorbiert.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung eine zweite oder flüssige Umgebung (122) enthält, durch die die Kugeln durchgehen, wobei die zweite oder flüssige Umgebung ein zweites Wärmeübertragungsmedium enthält, das einen Vorrat von verflüssigtem Gas oder Halogenkohlenwasserstoff enthält.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Kugeln durch die zweite oder flüssige Umgebung durchgehen, um die spezifische Wärme von den Kugeln zu absorbieren und die Kugeln vor der Berührung der Kugeln mit einem Boden (128) der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung abzufedern.

6. Verfahren nach Anspruch 1, das außerdem den Schritt der visuellen Überwachung des Stromes niederviskosen, flüssigen Materials beim Aufbrechen des Stromes in Kugeln aufweist, um eine Information über den Durchmesser und die Gestalt der Kugeln und die Stabilität des Stromes zu liefern.

7. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die verfestigten Kugeln auf einem trichterförmigen Boden (124) der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung gesammelt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Kugeln einen Durchmesser in dem Bereich von 12–1000 Mikron aufweisen.

9. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Kugeln vor der Berührung mit einem Boden der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungs-

umgebung während 0,5 bis 1,5 sek. die abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung durchlaufen.

10. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die abgeschlossene Verfestigungsumgebung niedriger Temperatur auf einer Temperatur von weniger als 0°C steht.

11. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem ein zwischen einer Stelle, an der der Strom in die Kugeln aufbricht und einer Stelle, an der die Kugeln mit der zweiten oder flüssigen Umgebung in Berührung kommen, definierter Abstand verändert wird, um die Zeit, während der sich die Kugeln verfestigen zu verlängern oder zu verkürzen.

12. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die kleine periodische Störung durch einen piezoelektrischen Aktuator (50) in das niederviskose, flüssige Material eingebracht wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der piezoelektrische Aktuator einen Stapel (52) piezoelektrischer Kristalle aufweist, der auf einem oberen Bereich (22) des Tiegels angebracht ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die kleine periodische Störung durch einen elektromechanischen Wandler in das niederviskose, flüssige Material eingebracht wird, der auf einem oberen Bereich des Tiegels angebracht ist.

15. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die kleine periodische Störung mit einer Düse eingebracht wird, die eine die Düsenöffnung definierendes festes Aspektverhältnis aufweist.

16. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das niederviskose flüssige Material mit einem im Wesentlichen positiven Druck beaufschlagt wird, um das niederviskose, flüssige Material in einem gleichförmigen, laminaren Strom durch die Öffnung hinauszudrücken.

17. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Ablenkmittel (110) zwei räumlich voneinander getrennte Flächen (112', 114') aufweist, wobei zwischen den beiden Flächen das elektrische Feld zum Ablenken der nach unten wandernden Kugeln erzeugt wird.

18. Vorrichtung zum Erzeugen von Kugeln gleichförmiger Größe und Gestalt, das aufweist: Einen Tiegel (20) zur Aufnahme eines Vorrats einer niederviskosen, flüssigen Materials (28), ein Anregungsmittel (50), um eine kleine periodische Störung in das niederviskose, flüssige Material in dem Tiegel einzubringen, ein Druckreglermittel (30) zur Druckbeaufschlagung des niederviskosen, flüssigen Materials, um das nie-

derviskose, flüssige Material als gleichförmigen laminaren Strom (70) durch wenigstens eine Öffnung in dem Tiegel zu drücken, wobei der Strom beim Austritt aus der Öffnung in eine Vielzahl Kugeln (72) im Wesentlichen gleichförmiger Größe aufbricht; ein Auflademittel (80), um auf den Strom niederviskosen, flüssigen Materials beim Austreten des Stroms aus der Öffnung und bei dessen Aufbrechen in die Kugeln eine Ladung aufzubringen, eine abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung (14), die eine erste oder gasförmige Umgebung (102) definiert und die wenigstens ein Wärmeübertragungsmedium enthält, wobei die abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung den Strom niederviskosen, flüssigen Materials und Kugeln aufnimmt, das Wärmeübertragungsmittel in der ersten oder gasförmigen Umgebung die Schmelzwärme absorbiert, wobei die Kugeln abgekühlt und im Wesentlichen verfestigt werden, gekennzeichnet durch ein Ablenkmittel (110), das die geladene Kugeln beim Durchgang der geladenen Kugeln durch das von dem Ablenkmittel erzeugte elektrische Feld ablenkt.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der das Wärmeübertragungsmedium in der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Umgebung eine Wärmegradienten ausbildet.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der die abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung außerdem eine zweite oder flüssige Umgebung (122) enthält, die die spezifische Wärme der Kugeln aufnimmt und die Kugeln vor der Berührung der Kugeln mit einem Boden (28) der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung abfedert.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, bei der die zweite oder flüssige Umgebung einen Vorrat eines zweiten Wärmeübertragungsmediums enthält, das ein verflüssigtes Gas oder einen Halogenkohlenwasserstoff enthält.

22. Vorrichtung nach Anspruch 18, die außerdem ein Beobachtungssystem (98) aufweist, um den Materialstrom beim Aufbrechen des Stroms in die Kugeln zu überwachen, um eine Information über den Durchmesser und die Gestalt der Kugeln zu liefern.

23. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der ein Boden der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung einen Trichter (124) aufweist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der die Öffnung (44) einen Durchmesser aufweist, der in dem Bereich von 12 bis 1000 Mikron liegt.

25. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der ein

zwischen der Öffnung und einem Boden der abgeschlossenen, temperaturgeregelten Verfestigungsumgebung definierter Abstand in dem Bereich von 1m bis 5m liegt.

26. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der die abgeschlossene, temperaturgeregelte Verfestigungsumgebung eine Temperatur unter 0°C aufweist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 20, bei der ein Abstand zwischen einer Stelle, an der der Strom in die Kugeln aufbricht und einer Stelle an der die Kugeln mit der zweiten oder flüssigen Umgebung in Berührung kommen, verändert wird, um die Zeit, in der sich die Kugeln verfestigen, zu verlängern oder zu verkürzen.

28. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der das Anregungsmittel (50) einen piezoelektrischen Aktuator aufweist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, bei der der piezoelektrische Aktuator einen Stapel (52) piezoelektrischer Kristalle aufweist, der auf einem oberen Bereich des Tiegels angebracht ist.

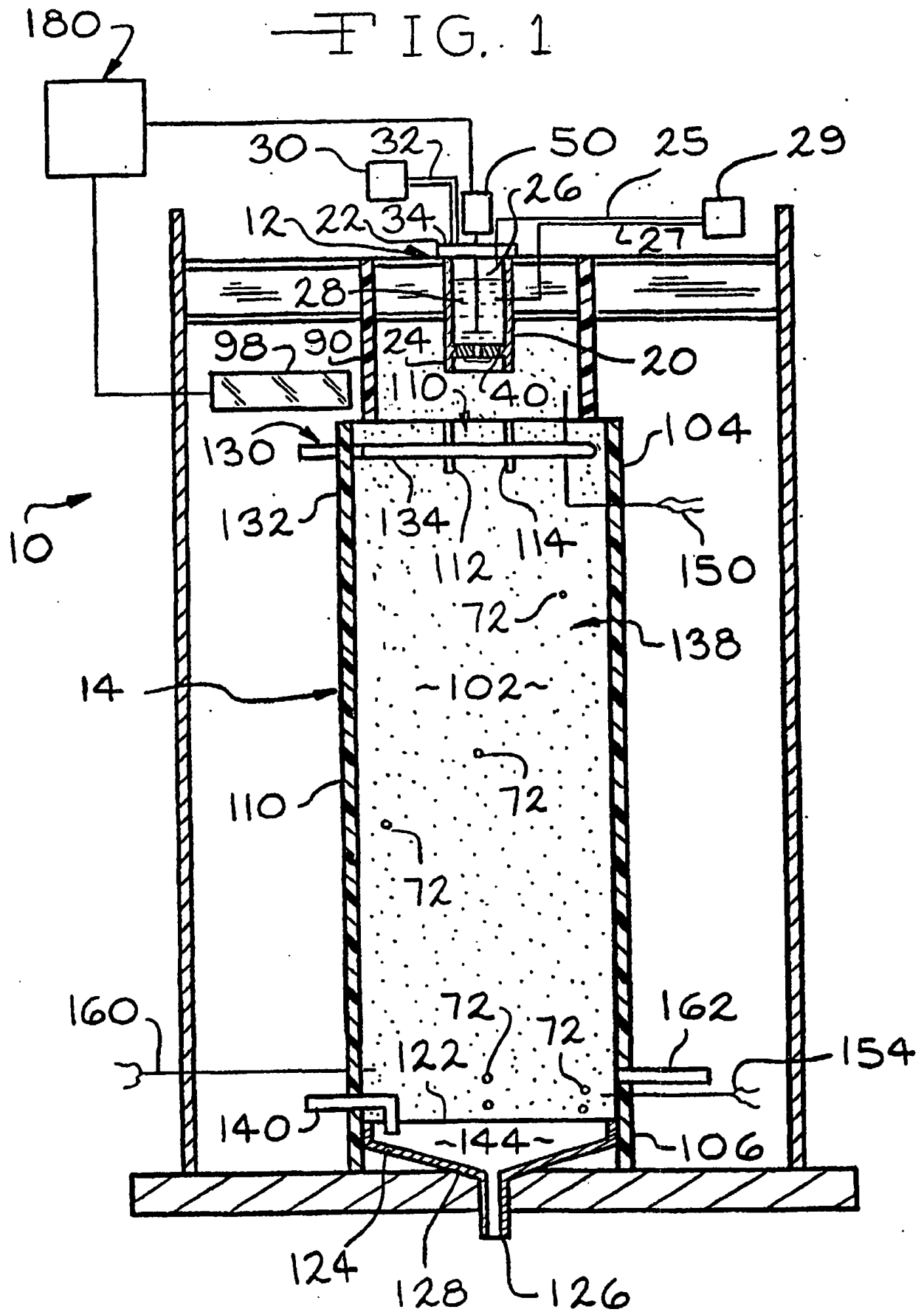
30. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der das Anregungsmittel einen elektromechanischen Wandler aufweist.

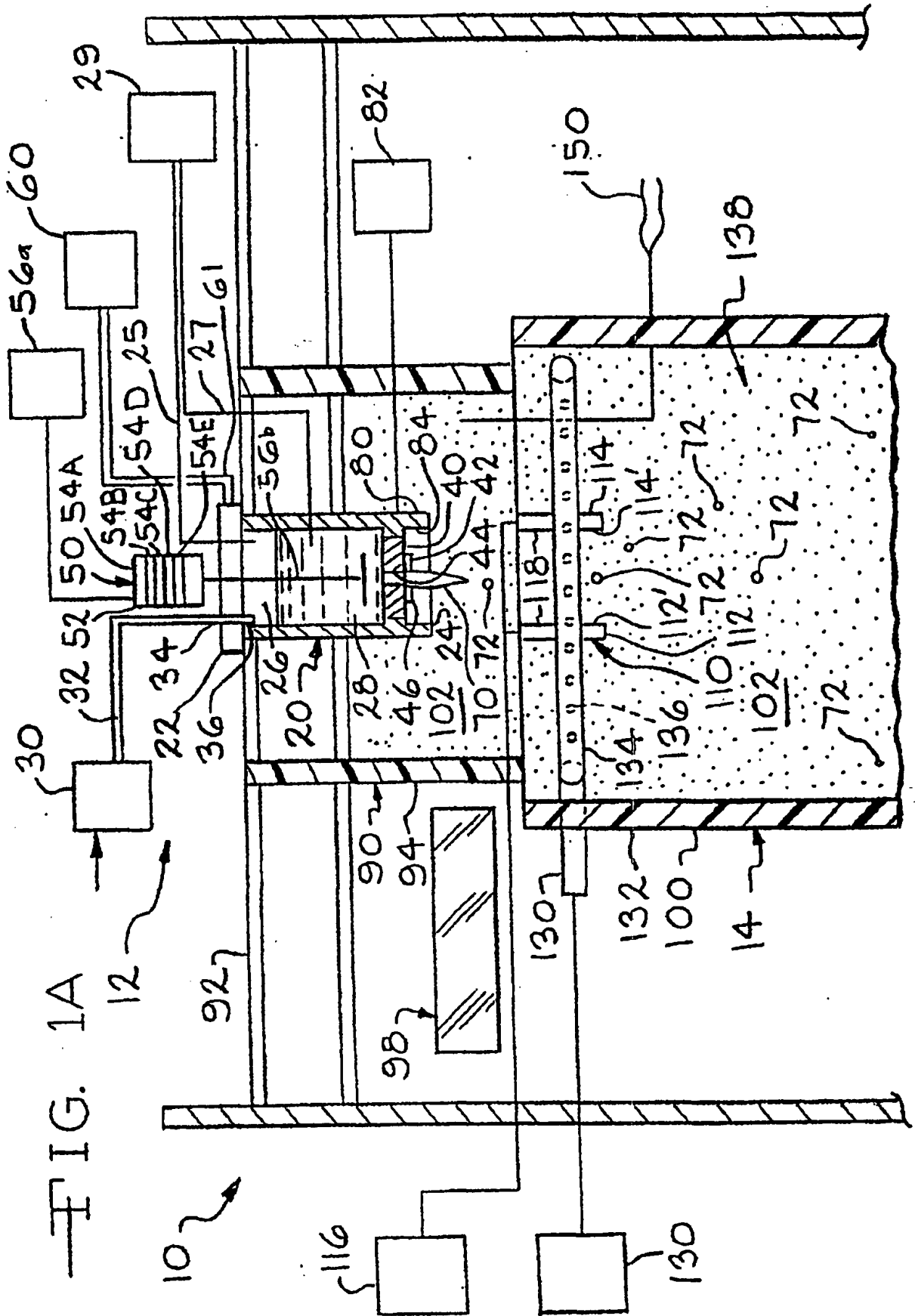
31. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der das Anregungsmittel eine Düse mit einer Öffnung in dem Tiegel definierenden festen Aspektverhältnis aufweist.

32. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der das Druckreglermittel (30) einen positiven Druck liefert, der ein trockenes und inertes Gas umfasst.

33. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei der das Ablenkmittel (110) zwei räumlich voneinander getrennte Flächen (112', 114') und eine Spannungsquelle (116) zur Erzeugung eines elektrischen Kraftfeldes zwischen den Flächen aufweist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen





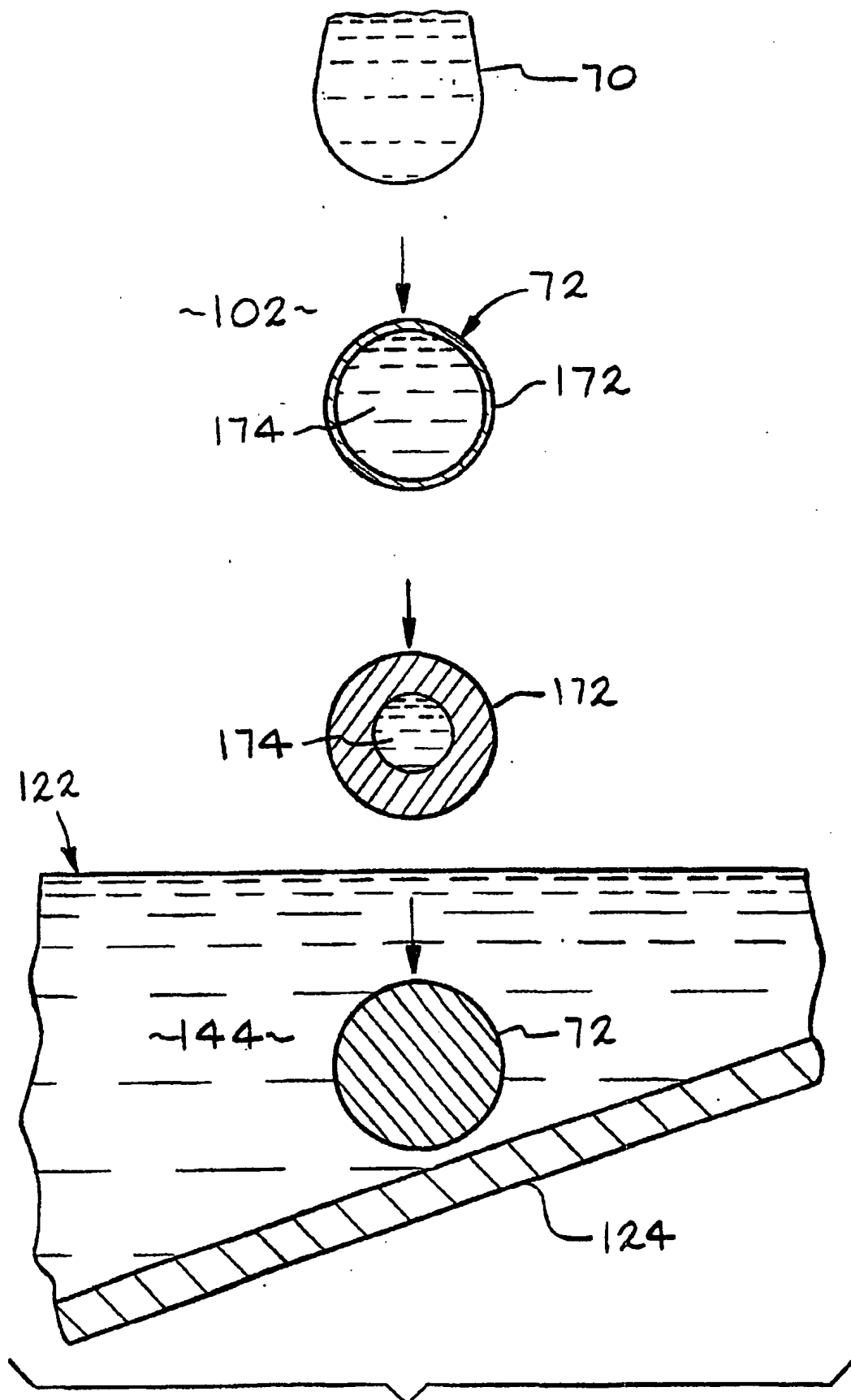


FIG. 2