



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **11 2019 000 182.5**
(22) Anmeldetag: **14.10.2019**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.08.2024**

(51) Int Cl.: **C30B 11/02 (2006.01)**
C30B 35/00 (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).

(30) Unionspriorität:
201910379853.3 08.05.2019 CN

(73) Patentinhaber:
LDK SOLAR (XINYU) HI-TECH (XINYU) CO.,LTD,
Xinyu City, Jiangxi, CN

(74) Vertreter:
Viering, Jentschura & Partner mbB Patent- und
Rechtsanwälte, 01099 Dresden, DE

(72) Erfinder:
Chen, Xianhui, Xinyu City, Jiangxi, CN; Zou, Guifu,
Xinyu City, Jiangxi, CN; He, Liang, Xinyu City,
Jiangxi, CN; Mao, Wei, Xinyu City, Jiangxi, CN; Lei,
Qi, Xinyu City, Jiangxi, CN

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	698 32 846	T2
CN	2 07 646 330	U
JP	2001- 48 696	A

(54) Bezeichnung: **Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium und dessen Anwendung**

(57) Hauptanspruch: Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium, wobei er Folgendes umfasst:

- einen Ofenkörper (10), der einen oberen Ofenkörper (11) und einen unteren Ofenkörper (12), die aufeinander abgestimmt sind, umfasst, wobei der unterste Bereich des unteren Ofenkörpers (12) mit einer Wellenbohrung (13) versehen ist,

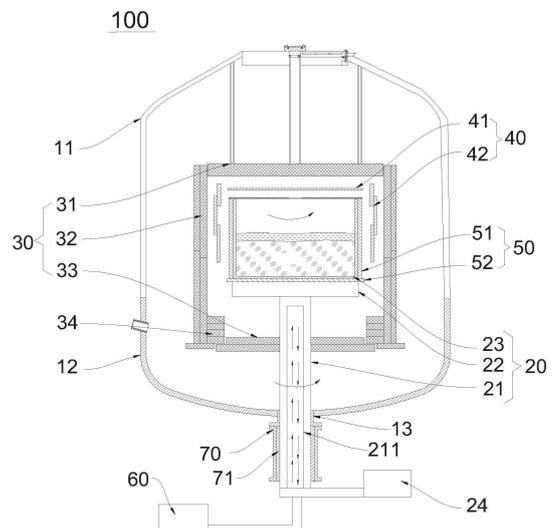
- eine Stützplattform (20), die eine Drehwelle (21) und eine an einem Ende der Drehwelle (21) befestigte Wärmeaustauschplattform (22) umfasst, an welcher Wärmeaustauschplattform (22) ein Tiegel (23) vorgesehen ist, wobei das andere Ende der Drehwelle (21) durch die Wellenbohrung (13) hindurchgeht und mit einem außerhalb des unteren Ofenkörpers (12) vorgesehenen Drehantrieb (24) verbunden ist, welcher Drehantrieb (24) zum Versetzen der Drehwelle (21) in Drehung dient, um somit den Tiegel (23) in Mitdrehung zu versetzen, wobei innerhalb der Drehwelle (21) ferner eine Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung (211) vorgesehen ist, die zum Einleiten einer Kühlflüssigkeit und zum Zirkulieren der Kühlflüssigkeit dient, um somit eine Umlaufkühlung der Drehwelle (21) zu bewirken,

- eine Schutzplatte (50), die an einer äußeren Seitenwand des Tiegels (23) angeordnet ist,

- einen Wärmedämmkäfig (30) und ein innerhalb des Wärmedämmkäfigs (30) vorgesehenes Heizgerät (40), wobei bei dem Wärmedämmkäfig (30) eine obere Wärmedämmplatte (31), eine seitliche Wärmedämmplatte (32) und eine untere Wärmedämmplatte (33) eine dichte Wär-

mefeldkammer bilden, wobei der Tiegel (23), die Wärmeaustauschplattform (22), die Schutzplatte (50) und das Heizgerät (40) jeweils innerhalb des Wärmedämmkäfigs (30) angeordnet sind,

wobei die obere Wärmedämmplatte (31) und die seitliche Wärmedämmplatte (32) miteinander verbunden sind und somit eine Warmhaltehaube bilden, welche Warmhaltehaube von der unteren Wärmedämmplatte (33) getrennt werden kann, wobei an einer der unteren Wärmedämmplatte (33) zugewandten Stelle an der Oberfläche der Innenwand der seitlichen Wärmedämmplatte ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität für die am 8. Mai 2019 bei dem chinesischen Patentamt eingereichte chinesische Patentanmeldung mit der Anmeldungsnummer von 2019103798533 und dem Titel „Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium und dessen Anwendung“, wobei sämtliche Inhalte davon durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung aufgenommen werden.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft das Gebiet der Kristallisationsöfen für kristallines Silizium, insbesondere einen Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium und dessen Anwendung.

STAND DER TECHNIK

[0003] Photovoltaische Stromerzeugung mittels von Solarenergie stellt eine der potentialreichsten Möglichkeiten zur Verwendung erneuerbarer Energie dar. Dabei halten kristalline Silizium-Solarzellen dank ihrer hohen Umwandlungseffizienz und technischen Reife weiter eine führende Stelle. Die photovoltaische Umwandlungseffizienz, die Degradationsrate und die Kosten der kristallinen Silizium-Solarzellen stehen in engem Zusammenhang mit der Qualität des verwendeten kristallinen Siliziums, weshalb während der Herstellung kristallinen Siliziums verschiedene Bedingungen, die die Qualitätskriterien kristallinen Siliziums wie z.B. kristalline Phase, Defekt und Verunreinigung beeinflussen, gesteuert werden sollen.

[0004] In der Industriebranche stellen Kristallisationsöfen zurzeit eine wichtige Anlage zur Herstellung kristallinen Siliziums dar. Bei herkömmlichen Kristallisationsöfen besteht jedoch in der Regel das Problem ungleichmäßiger Erwärmung, was zur Ungleichmäßigkeit der Grenzfläche des Einzelkristallwachstums eines Ingots führt. Des Weiteren bestehen an vier Seiten des hergestellten Siliziumingots zahlreiche ungleichmäßige unebene Grenzflächen, sodass der Siliziumingot zahlreiche rote Bereiche (engl. red zones) im Fußbereich aufweist, wodurch die Qualität und die Ausbeute des Siliziumingots erheblich beeinträchtigt werden.

[0005] Die CN 102 936 748 A, die JP S63 - 64 990 A, die CN 109 097 829 A, die JP 2006 335 582 A, die JP 2015 117 145 A sowie die WO 2013 / 040 246 A1 offenbaren bekannte Gestaltungen.

[0006] Weitere Gestaltungen sind aus DE 698 32 846 T2, JP 2001 48 696 A und CN 207 646 330 U bekannt.

INHALT DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

[0007] Daher liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium und dessen Anwendung bereitzustellen, wobei mit dem Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium eine gleichmäßige Erwärmung eines Tiegels ermöglicht wird, womit das Problem zahlreicher unebener Grenzflächen an einzelnen Seitenflächen eines Siliziumingots verbessert, die Anzahl an roten Bereichen (engl. red zones) im Fußbereich des hergestellten Siliziumingots verringert, die Verunreinigung besser aus der Schmelze entfernt und somit die Qualität und die Ausbeute des Siliziumingots erhöht werden können.

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt einen Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium gemäß Anspruch 1 bereit. Die Ansprüche 2 bis 9 zeigen weitere vorteilhafte Ausführungsformen des Kristallisationsofens. Ferner stellt die vorliegende Erfindung eine Anwendung des Kristallisationsofens gemäß Anspruch 10 bereit.

[0009] Gemäß einem ersten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch einen Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium, der Folgendes umfasst:

- einen Ofenkörper, der einen oberen Ofenkörper und einen unteren Ofenkörper, die aufeinander abgestimmt sind, umfasst, wobei der unterste Bereich des unteren Ofenkörpers mit einer Wellenbohrung versehen ist,
- eine Stützplattform, die eine Drehwelle und eine an einem Ende der Drehwelle befestigte Wärmeaustauschplattform umfasst, an welcher Wärmeaustauschplattform ein Tiegel vorgesehen ist, wobei das andere Ende der Drehwelle durch die Wellenbohrung hindurchgeht und mit einem außerhalb des unteren Ofenkörpers vorgesehenen Drehantrieb verbunden ist, welcher Drehantrieb zum Versetzen der Drehwelle in Drehung dient, um somit den Tiegel in Mitdrehung zu versetzen, wobei innerhalb der Drehwelle ferner eine Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung vorgesehen ist, die zum Einleiten einer Kühlflüssigkeit und zum Zirkulieren der Kühlflüssigkeit dient, um somit eine Umlaufkühlung der Drehwelle zu verwirklichen,
- eine Schutzplatte, die an einer äußeren Seitenwand des Tiegels angeordnet ist,
- einen Wärmedämmkäfig und ein innerhalb des Wärmedämmkäfigs vorgesehenes Heizgerät, wobei bei dem Wärmedämmkäfig eine obere Wärmedämmplatte, eine seitliche Wärme-

dämmplatte und eine untere Wärmedämmplatte eine dichte Wärmefeldkammer bilden, wobei der Tiegel, die Wärmeaustauschplattform, die Schutzplatte und das Heizgerät jeweils innerhalb des Wärmedämmkäfigs angeordnet sind, wobei dass die obere Wärmedämmplatte und die seitliche Wärmedämmplatte miteinander verbunden sind und somit eine Warmhaltehaube bilden, welche Warmhaltehaube von der unteren Wärmedämmplatte getrennt werden kann, wobei an einer der unteren Wärmedämmplatte zugewandten Stelle an der Oberfläche der Innenwand der seitlichen Wärmedämmplatte ferner mehrere Warmhalteleisten vorgesehen sind, wobei die Warmhalteleiste zum Abdecken eines Zwischenraums zwischen der seitlichen Wärmedämmplatte und der unteren Wärmedämmplatte (33) und zum Warmhalten dient.

[0010] Optional ist vorgesehen, dass außerhalb des unteren Ofenkörpers ferner ein Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem vorgesehen ist, das mit der Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung verbunden ist.

[0011] Optional ist vorgesehen, dass der Kristallisationsofen ferner eine Dichtungseinrichtung umfasst, die zum Abdichten eines Zwischenraums zwischen der Drehwelle und der Innenwand der Wellenbohrung dient.

[0012] Optional ist vorgesehen, dass die Dichtungseinrichtung eine Magnetofluid-Dichtungseinrichtung umfasst, die auf der Drehwelle aufgeschoben und an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers befestigt ist.

[0013] Optional ist vorgesehen, dass die Schutzplatte eine seitliche Schutzplatte und eine untere Schutzplatte umfasst, wobei die untere Schutzplatte zwischen dem untersten Bereich des Tiegels und der Wärmeaustauschplattform angeordnet und an der Oberfläche der unteren Schutzplatte ein Antirutschmuster vorgesehen ist.

[0014] Optional ist vorgesehen, dass der Kristallisationsofen ferner mehrere Kühlkörper umfasst, die auf einer der Wärmeaustauschplattform zugewandten Seite angeordnet sind, wobei jeder der Kühlkörper über eine Stützstange an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers befestigt ist.

[0015] Optional ist vorgesehen, dass ein der Wärmeaustauschplattform zugewandtes Ende der Drehwelle mit einer Verbindungsplatte versehen ist, an der mehrere Verbindungsstangen vorgesehen sind, die mit der Wärmeaustauschplattform fest verbunden sind.

[0016] Optional ist vorgesehen, dass das Heizgerät ein oberes Heizgerät und ein seitliches Heizgerät

umfasst, wobei das obere Heizgerät oberhalb des Tiegels und das seitliche Heizgerät auf der äußeren Seite der Seitenwand des Tiegels angeordnet ist, wobei beim Drehen des Tiegels das seitliche Heizgerät den Tiegel nicht berührt, und wobei der Querschnitt des seitlichen Heizgeräts u.a. kreisförmig, quadratisch oder polygonal ausgebildet ist.

[0017] Optional ist vorgesehen, dass bei dem Wärmedämmkäfig eine obere Wärmedämmplatte, eine seitliche Wärmedämmplatte und eine untere Wärmedämmplatte eine dichte Wärmefeldkammer bilden, wobei die obere Wärmedämmplatte, die seitliche Wärmedämmplatte und/oder die untere Wärmedämmplatte mindestens eine Warmhalteschicht umfassen.

[0018] Mit dem Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach dem ersten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung kann eine gleichmäßige Erwärmung eines Tiegels bei dessen Drehung ermöglicht werden, womit eine gleichmäßige Wärmeverteilung an irgendeiner Stelle innerhalb des Tiegels erzielt wird, sodass das Problem zahlreicher unebener Grenzflächen an einzelnen Seitenflächen eines Siliziumingots verbessert, die Anzahl an roten Bereichen (engl. red zones) im Fußbereich des hergestellten Siliziumingots verringert, die Verunreinigung besser aus der Schmelze entfernt und somit die Qualität und die Ausbeute des Siliziumingots erhöht werden können. Innerhalb des Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium kann ferner eine Umlaufkühlung erzielt werden, womit das Kühlungsproblem innerhalb des Kristallisationsofens bis zu einem gewissen Grad verbessert werden kann. Bei dem Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium wird ferner mittels einer Magnetofluid-Dichtungseinrichtung eine Trennung des Ofenkörpers von der Außenumgebung ermöglicht, womit die Verschmutzung durch äußere Verunreinigung und instabile Temperatur innerhalb des Ofenkörpers vermieden werden.

[0019] Gemäß einem zweiten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung stellt die vorliegende Erfindung ferner eine Anwendung des Kristallisationsofens nach dem ersten Gesichtspunkt der Erfindung bei der Herstellung von monokristallinem Silizium, polykristallinem Silizium oder quasimonokristallinem Silizium bereit.

[0020] Beispielsweise wird in einer nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform ein Herstellungsverfahren für einen Siliziumingot bereitgestellt, das Folgendes umfasst:

- Bereitstellen eines Kristallisationsofens nach dem ersten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung und Hineinlegen einer Impfkristallschicht in den Tiegel des Kristallisationsofens,

- Einfüllen eines Silizium-Materials auf die Impfkristallschicht, Schmelzen des Silizium-Materials innerhalb des Tiegels zur Siliziumschmelze durch Erwärmen, und Einstellen des Wärme-felds vor vollständigem Schmelzen der Impfkristallschicht, um einen unterkühlten Zustand einzuleiten, sodass Kristall aus der Siliziumschmelze auf der Grundlage der Impfkristallschicht gezüchtet wird,

- Ausglühen und Abkühlen nach Kristallisation der ganzen Siliziumschmelze, um einen monokristallinen Siliziumingot zu erhalten.

[0021] In einer anderen nicht erfindungsgemäßen Ausführungsform kann ferner ein polykristalliner Siliziumingot oder ein quasimonokristalliner Siliziumingot durch Herstellen unter Verwendung des Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium erhalten werden.

[0022] Gegenüber herkömmlichen Siliziumingots weisen Siliziumingots, die unter Verwendung des erfindungsmäßigen Kristallisationsofens hergestellt werden, weniger rote Bereiche (engl. red zones) in unterstem Bereich und besseres Halbleiterverfahren auf. Mit dem Kristallisationsofen kann Verunreinigung besser aus der Schmelze entfernt werden, weshalb der somit hergestellte Siliziumingot weniger Verunreinigung aufweist. Des Weiteren wird die Anzahl an unebenen Grenzflächen an einzelnen Oberflächen des mit dem Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium hergestellten Siliziumingots wesentlich verringert, die Ausbeute des Produkts erheblich erhöht und gleichzeitig auch die Produktionskosten deutlich gesenkt.

[0023] Die Vorteile der vorliegenden Erfindung sind ferner aus der nachfolgenden Beschreibung zu entnehmen und einige davon verstehen sich von selbst anhand der Beschreibung oder lassen sich durch Ausführen des erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels ermitteln.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0024] Zum besseren Verständnis der Inhalte der vorliegenden Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen anhand konkreter Ausführungsbeispiele darauf näher eingegangen. Darin zeigen

Fig. 1 eine schematische strukturelle Schnittdarstellung eines Kristallisationsofens 100 für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 einen Ausschnitt der schematischen Querschnittdarstellung des Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes

kristallines Silizium nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3 einen Ausschnitt der schematischen Querschnittdarstellung eines Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 4 einen Ausschnitt der schematischen Querschnittdarstellung eines Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung,

Fig. 5 eine schematische strukturelle Schnittdarstellung eines Kristallisationsofens 200 für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0025] Nachstehend werden bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiele erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass für Durchschnittsfachleute auf diesem Gebiet verschiedene Verbesserungen und Modifikationen ohne Verlassen des Prinzips der Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung möglich sind, die ebenfalls als Schutzzumfang der Ausführungsbeispiel der Erfindung betrachtet werden.

[0026] Des Weiteren zielen die Begriffe „umfassen“, „aufweisen“ und ihre Varianten in der Beschreibung, den Ansprüchen und den beiliegenden Zeichnungen der vorliegenden Anmeldung auf eine nicht exklusive Einbeziehung ab. Ein Vorgang, ein Verfahren, ein System, ein Produkt oder eine Anlage, der, das oder die beispielsweise eine Reihe von Schritten oder Einheiten umfasst, wird nicht auf die aufgeführten Schritte oder Einheiten beschränkt und umfasst vielmehr optional auch andere Schritte oder Einheiten, die nicht angegeben werden oder über die solcher Vorgang, solches Verfahren, Produkt oder solche Anlage selbst verfügt.

[0027] Wie sich aus **Fig. 1** ergibt, umfasst ein Kristallisationsofen 100 für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung Folgendes:

- einen Ofenkörper 10, der einen oberen Ofenkörper 11 und einen unteren Ofenkörper 12, die aufeinander abgestimmt sind, umfasst, wobei der obere Ofenkörper 11 eine erste Öffnung und der untere Ofenkörper 12 eine zweite Öffnung aufweist, wobei die erste Öffnung und die zweite Öffnung einander gegenüberliegend angeordnet sind, und wobei der unterste

Bereich des unteren Ofenkörpers 12 mit einer Wellenbohrung 13 versehen ist,

- eine Stützplattform 20, die eine Drehwelle 21 und eine an einem Ende der Drehwelle 21 befestigte Wärmeaustauschplattform 22 umfasst, an welcher Wärmeaustauschplattform 22 ein Tiegel 23 vorgesehen ist, wobei das andere Ende der Drehwelle 21 durch die Wellenbohrung 13 hindurchgeht und mit einem außerhalb des unteren Ofenkörpers 12 vorgesehenen Drehantrieb 24 verbunden ist, welcher Drehantrieb 24 zum Versetzen der Drehwelle 21 in Drehung dient, um somit den Tiegel 23 in Mitdrehung zu versetzen, wobei innerhalb der Drehwelle 21 ferner eine Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung 211 vorgesehen ist, die zum Einleiten einer Kühlflüssigkeit und zum Zirkulieren der Kühlflüssigkeit dient, um somit eine Umlaufkühlung der Drehwelle 21 zu verwirklichen,

- einen Wärmedämmkäfig 30 und ein innerhalb des Wärmedämmkäfigs 30 vorgesehenes Heizgerät 40,

- eine Schutzplatte 50, die an einer äußeren Seitenwand des Tiegels 23 angeordnet ist.

[0028] In der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass bei dem Wärmedämmkäfig 30 eine obere Wärmedämmplatte 31, eine seitliche Wärmedämmplatte 32 und eine untere Wärmedämmplatte 33 eine dichte Warmfeldkammer bilden. Der Tiegel 23, die Wärmeaustauschplattform 22, die Schutzplatte 50 und das Heizgerät 40 sind jeweils innerhalb des Wärmedämmkäfigs 30 angeordnet.

[0029] Optional ist vorgesehen, dass die obere Wärmedämmplatte 31, die seitliche Wärmedämmplatte 32 und/oder die untere Wärmedämmplatte 33 mindestens eine Warmhalteschicht umfassen. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die obere Wärmedämmplatte 31, die seitliche Wärmedämmplatte 32 und die untere Wärmedämmplatte 33 beispielsweise zwei Warmhalteschichten umfassen. In einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die obere Wärmedämmplatte 31, die seitliche Wärmedämmplatte 32 und die untere Wärmedämmplatte 33 auch drei Warmhalteschichten umfassen können.

[0030] In der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die obere Wärmedämmplatte 31 und die seitliche Wärmedämmplatte 32 miteinander verbunden sind und somit eine Warmhaltehaube bilden, welche Warmhaltehaube von der unteren Wärmedämmplatte 33 getrennt werden kann. An einer der unteren Wärmedämmplatte zugewandten Stelle an der Oberfläche der Innenwand der seitlichen Wärmedämmplatte 32 sind ferner mehrere Warmhalteleis-

ten 34 vorgesehen. Die Warmhalteleiste 34 kann zum Abdecken eines Zwischenraums zwischen der seitlichen Wärmedämmplatte 32 und der unteren Wärmedämmplatte 33 und zum Warmhalten dienen.

[0031] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann es sich bei dem Tiegel 23 um ein bestehendes Tiegelprodukt handeln, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein. Bei dem Tiegel kann es sich beispielsweise um einen Quarztiegel, einen Graphittiegel oder einen Keramiktiegel handeln. Optional kann sowohl an dem untersten Bereich als auch an der Oberfläche der Seitenwand des Tiegels eine Siliziumoxid-Beschichtung vorgesehen sein, ohne darauf beschränkt zu sein.

[0032] Ferner ist vorgesehen, dass der Querschnitt des Tiegels 23 kreisförmig, quadratisch oder polygonal ausgebildet sein kann. Beispielsweise kann es sich bei dem Tiegel um ein bestehendes Tiegelprodukt verschiedener Ausführungen, beispielsweise einen G5-Tiegel, einen G6-Tiegel oder einen G7-Tiegel handeln. Da mit dem erfindungsgemäßen Kristallisationsofen eine Erwärmung eines Tiegels bei dessen Drehung ermöglicht werden kann, kann daher bei Tiegeln mit verschiedenen Querschnittsformen eine gleichmäßige Erwärmung innerhalb des erfindungsgemäßen Kristallisationsofens erzielt werden. Zum Verringern der Materialverschwendung des Siliziumingots handelt es sich bei dem Tiegel vorzugsweise um einen Tiegel mit einer vorgegebenen Standardgröße oder Standardquerschnittsform.

[0033] Optional kann es sich bei der Wärmeaustauschplattform 22 um eine DS-Platte handeln. Die Wärmeaustauschplattform kann beispielsweise ein DS-Block sein. Mit der Wärmeaustauschplattform 22 kann eine Kühlung des untersten Bereichs des Tiegels zum Erzielen einer gerichteten Kristallzucht für die Siliziumschmelze innerhalb des Tiegels verwirklicht werden.

[0034] Optional ist vorgesehen, dass die Schutzplatte 50 eine seitliche Schutzplatte 51 und eine untere Schutzplatte 52 umfasst, wobei die untere Schutzplatte 52 zwischen dem untersten Bereich 23 des Tiegels und der Wärmeaustauschplattform 22 angeordnet ist. Die Schutzplatte 50 liegt eng an dem Tiegel 23 an. Der Zwischenraum zwischen der Schutzplatte 50 und dem Tiegel 23 kann mit einem Graphitfilz gefüllt werden, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein. Durch Füllen mit einem Graphitfilz kann eine effektive Abstimmung der Schutzplatte und des Tiegels aufeinander erzielt werden, was für gleichmäßigere Wärmeverteilung auf der horizontalen Ebene des Tiegels sorgt. Somit wird ein Totwinkel für Wärme weitgehend verhindert.

[0035] Optional weist die untere Schutzplatte 52 einen hohen Wärmeübergangskoeffizienten und

einen großen Reibungskoeffizienten gegenüber dem Tiegel 23 und der Wärmeaustauschplattform 22 auf.

[0036] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass an der Oberfläche der unteren Schutzplatte 52 ein Antirutschmuster vorgesehen ist. Das Antirutschmuster umfasst eine Antirutsch-Einbuchtung oder eine Antirutsch-Ausbuchtung. Das Antirutschmuster kann eine regelmäßige oder unregelmäßige Form aufweisen. Das Antirutschmuster kann gleichmäßig an der ganzen Oberfläche der unteren Schutzplatte angeordnet sein. Das Antirutschmuster kann auch vor allem an einem bestimmten Bereich der unteren Schutzplatte angeordnet sein. Das Antirutschmuster trägt zur Erhöhung der Reibung zwischen der unteren Schutzplatte 52 und dem Tiegel 23 bzw. der Wärmeaustauschplattform 22 bei und somit wird der Tiegel leichter durch die Drehwelle in Mitdrehung versetzt.

[0037] Optional ist an der Oberfläche der unteren Schutzplatte die Antirutsch-Einbuchtung vorgesehen, die eine ringförmige, linienförmige, quadratische oder polygonale Form aufweisen kann. Ferner ist vorgesehen, dass in der Antirutsch-Einbuchtung ein thermisch leitfähiges Material eingefüllt ist. Durch Vorsehen einer Antirutsch-Einbuchtung und eines thermisch leitfähigen Materials kann einerseits der Reibungskoeffizient zwischen der unteren Schutzplatte und dem Tiegel 23 bzw. der Wärmeaustauschplattform 22 weiter erhöht und somit eine Drehung des Tiegels unter Antrieb von der Drehwelle erleichtert und andererseits die Wärmeübertragung zwischen der Wärmeaustauschplattform und dem Tiegel weiter verbessert werden.

[0038] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann an der Oberfläche des untersten Bereichs des Tiegels ebenfalls ein Antirutschmuster vorgesehen sein. Beispielsweise ist dabei eine Antirutsch-Einbuchtung oder eine Antirutsch-Ausbuchtung denkbar. Die Oberfläche der Wärmeaustauschplattform kann ebenfalls ein auf die untere Schutzplatte abgestimmtes Antirutschmuster aufweisen, um somit eine Rutschbewegung zwischen der Oberfläche der Wärmeaustauschplattform und der unteren Schutzplatte zu verhindern.

[0039] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann zwischen der unteren Schutzplatte und der Wärmeaustauschplattform ein Befestigungsbolzen oder ein anderes Teil vorgesehen sein, um somit die Stabilität der unteren Schutzplatte und der Wärmeaustauschplattform zu erhöhen.

[0040] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung 211 innerhalb der Drehwelle 21 eine Wassereinlauf-Rohrleitung und eine Wasserauslauf-Rohrleitung. Sowohl die Drehwelle 21 als auch die

Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung 211 weisen gute Wärmeleitfähigkeit auf.

[0041] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass außerhalb des unteren Ofenkörpers 12 ferner ein Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem 60 vorgesehen ist, das mit der Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung 211 verbunden ist. Das Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem 60 dient zum Bereitstellen ausreichender Kühlflüssigkeit für die Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung 211. Optional kann es sich bei der Kühlflüssigkeit um Wasser handeln. Beispielsweise ist in einer Ausführungsform vorgesehen, dass das Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem 60 ausreichendes Kühlwasser bereitstellt, das von der Wassereinlauf-Rohrleitung der Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung einströmt und dann aus der Wasserauslauf-Rohrleitung ausströmt. Dabei wird mittels der Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung ein Wärmeaustausch ermöglicht und somit die Temperatur der Drehwelle innerhalb eines vorbestimmten Bereichs beibehalten.

[0042] Optional ist an der Drehwelle 21 ferner eine Temperaturüberwachungsbaugruppe vorgesehen, die die Temperatur der Drehwelle 21 ständig überwachen kann. Wenn die Temperatur der Drehwelle 21 einen bestimmten Schwellenwert überschreitet, kann die Temperaturüberwachungsbaugruppe auffordern, das Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem 60 einzuschalten.

[0043] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass es sich bei dem Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem 60 um eine bestehende herkömmliche Kühlwasserbaugruppe handeln kann. Beispielsweise kann das Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem 60 u.a. einen Temperatursensor, eine Wasserpumpe und einen Kühlturm umfassen, ohne darauf beschränkt zu sein. Bei dem Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem 60 kann es sich ferner um eine andere bestehende Einrichtung handeln und hierbei wird auf eine namentliche Nennung verzichtet.

[0044] Optional kann es sich bei dem Drehantrieb 24 um einen Drehmotor oder einen anderen Servomotor handeln. Der Drehantrieb 24 und die Drehwelle 21 übertragen eine Bewegung über einen Riemen oder ein Zahnrad.

[0045] Vorzugsweise übertragen der Drehantrieb 24 und die Drehwelle 21 eine Bewegung über einen Riemen. Bei dem Drehantrieb 24 nach der vorliegenden Erfindung kann durch Bewegungsübertragung über einen Riemen eine stabilere Ausgabe einer Drehbewegung an die Drehwelle 21 erzielt werden. Durch Bewegungsübertragung über einen Riemen kann ferner eine feinstufigere Drehzahlverstellung der Drehwelle 21 ermöglicht werden. Da eine Umlauf-

kühlung der Drehwelle 21 ermöglicht und somit eine niedrige Temperatur beibehalten werden kann, kann somit betroffene Baugruppe für die Bewegungsübertragung über einen Riemen besser geschützt und eine Beschädigung des Riemens bei hoher Temperatur verhindert werden. Beispielsweise durch Einstellen des Drehantriebs 24 kann die Riemenantriebsbaugruppe sofort die Drehwelle 21 zum Drehen antreiben und dabei werden ein großer Drehzahlverstellungsbereich, hohe Sicherheitsfähigkeit und niedrige Kosten verwirklicht.

[0046] Optional lässt sich die Drehzahl der Drehwelle 21 in Abhängigkeit von dem tatsächlichen Herstellungsprozess beliebig einstellen. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung liegt die Drehzahl der Drehwelle 21 beispielsweise zwischen 0 und 15 U/min. Konkret liegt die Drehzahl der Drehwelle 21 bei 5 U/min oder 10 U/min oder 15 U/min. Die Drehwelle 21 kann sich während eines Erwärmungsvorgangs bei der Herstellung von Siliziumingots oder während eines anderen Vorgangs drehen. Die Drehwelle 21 kann sich mit einer konstanten Drehzahl oder einer zunehmenden oder abnehmenden Drehzahl drehen.

[0047] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium ferner eine Dichtungseinrichtung umfasst, die zum Abdichten eines Zwischenraums zwischen der Drehwelle und der Innenwand der Wellenbohrung dient.

[0048] Optional ist vorgesehen, dass die Dichtungseinrichtung eine Magnetofluid-Dichtungseinrichtung umfasst, die auf der Drehwelle aufgeschoben und an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers befestigt ist. Die Magnetofluid-Dichtungseinrichtung kann ferner mit einer Schutzhülle versehen sein, bei der es sich um ein Wellrohr handeln kann. Die Magnetofluid-Dichtungseinrichtung kann über die Schutzhülle an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers befestigt sein.

[0049] Wie sich aus **Fig. 1** ergibt, umfasst der Rand der Innenwand der Wellenbohrung 13 des untersten Bereichs des unteren Ofenkörpers 12 eine Flanschstruktur, an der das Wellrohr 70 befestigt ist. Die Magnetofluid-Dichtungseinrichtung 71 ist innerhalb des Wellrohres 70 angeordnet und die Drehwelle 21 geht durch die Magnetofluid-Dichtungseinrichtung 71 und das Wellrohr 70 hindurch.

[0050] Optional kann das Wellrohr 70 alternativ zu auch durch Schweißen an der Innenwand der Wellenbohrung 13 befestigt sein.

[0051] Innerhalb der Magnetofluid-Dichtungseinrichtung 71 nach der vorliegenden Erfindung sind

ein Polschuh, ein Magnet und ein Magnetofluid vorgesehen. Unter Einwirkung eines durch den Magnet erzeugten Magnetfelds wird das Magnetofluid in dem Spalt zwischen der Drehwelle 21 und dem oberen Ende des Polschuhes konzentriert, womit ein O-förmiger Ring gebildet wird, um somit den Spalt zu verschließen und somit eine Abdichtung zu bewirken. Ohne Beeinträchtigung der Übertragung der Drehbewegung der Drehwelle 21 kann die Magnetofluid-Dichtungseinrichtung 71 die Öffnung 13 des unteren Ofenkörpers 12 verschließen. Bei der Magnetofluid-Dichtungseinrichtung 71 nach der vorliegenden Erfindung kann es sich um ein bestehendes Produkt handeln.

[0052] Da eine Umlaufkühlung der Drehwelle 21 ermöglicht und somit eine niedrige Temperatur beibehalten werden kann, kann somit ein störungsfreier Betrieb der Magnetofluid-Dichtungseinrichtung 71 normal beibehalten werden, ohne dass infolge einer hohen Temperatur eine schwache Dichtigkeit der Magnetofluid-Dichtungseinrichtung 71 verursacht wird.

[0053] Optional sind an der oberen Wärmedämmplatte 31 eine Lufteinlassbohrung und eine Luftauslassbohrung vorgesehen. Die Lufteinlassbohrung und die Luftauslassbohrung tragen zur Erfüllung der Anforderung an den Luftdruck und die Inertgasumgebung bei der Herstellung von Siliziumingots bei.

[0054] Optional ist an dem Tiegel 23 ferner eine Graphit-Deckplatte vorgesehen. An der Graphit-Deckplatte kann eine Wärmeleitungsbohrung oder eine Luftführungsbohrung vorgesehen sein, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein. Die Lufteinlassbohrung und die Luftauslassbohrung der oberen Wärmedämmplatte können der Reihe nach jeweils das Heizgerät und die Graphit-Deckplatte durchsetzen.

[0055] Optional ist vorgesehen, dass das Heizgerät 40 ein oberes Heizgerät 41 und ein seitliches Heizgerät 42 umfasst, wobei das obere Heizgerät 41 oberhalb des Tiegels 23 und das seitliche Heizgerät 42 auf der äußeren Seite der Seitenwand des Tiegels 23 angeordnet ist. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass das seitliche Heizgerät 42 in dem Zwischenraum zwischen der Schutzplatte 50 und dem Wärmedämmkäfig 30 angeordnet ist. Mit dem oberen Heizgerät 41 und dem seitlichen Heizgerät 42 kann der Tiegel 23 erwärmt werden, sodass das Silizium-Material innerhalb des Tiegels 23 zu einer Siliziumschmelze schmilzt.

[0056] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dreht sich der Tiegel 23 relativ zu dem Heizgerät 40. Beim Drehen des Tiegels 23 berührt das seitliche Heizgerät 42 den Tiegel 23 nicht.

[0057] Optional ist der Abstand zwischen dem seitlichen Heizgerät 42 und dem Tiegel 23 größer als 40 mm. Beispielsweise kann der Abstand zwischen dem seitlichen Heizgerät 42 und dem Tiegel 23 bei 40 mm oder 45 mm oder 50 mm oder 55 mm oder 60 mm liegen. Hierbei wird die Dicke der Schutzplatte vernachlässigt. Wenn der Tiegel eine dicke Schutzplatte umfasst, kann der Abstand zwischen dem seitlichen Heizgerät 42 und dem Tiegel 23 entsprechend eingestellt werden.

[0058] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung liegt zwischen dem seitlichen Heizgerät 42 und dem Tiegel 23 ein bestimmter Abstand vor, sodass die Drehung des Tiegels 23, der Schutzplatte 50 und der Wärmeaustauschplattform 22 nicht durch das seitliche Heizgerät 42 beeinträchtigt wird.

[0059] Ferner ist vorgesehen, dass die Form des Heizgeräts symmetrisch ausgebildet sein kann. Konkret kann das seitliche Heizgerät 42 kreiszylinderförmig ausgebildet sein oder die Form eines Prismas mit einer N-eckigen Grundfläche aufweisen, wobei N für eine positive ganze Zahl von 4 bis 20 steht. Das Heizgerät, das die Form eines Prismas mit einer N-eckigen Grundfläche aufweist, kann durch Zusammenfügen von N Heizplatten gebildet werden, wobei jede der Heizplatten aus mehreren U-förmigen Heizwiderstandseinheiten besteht. Optional kann das kreiszylinderförmige Heizgerät aus einer ringförmigen Heizplatte bestehen. Nach Bestromen kann das Heizgerät einen Heizvorgang um die Schutzplatte und den Tiegel herum durchführen.

[0060] Ferner ist vorgesehen, dass der Querschnitt des seitlichen Heizgeräts 42 kreisförmig, quadratisch oder polygonal ausgebildet sein kann. Bei der polygonalen Form kann es sich u.a. um eine sechseckige Form oder eine achteckige Form handeln. In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann es sich bei der polygonalen Form um eine achteckige Form handeln.

[0061] Wie aus **Fig. 2** zu entnehmen ist, kann der Wärmedämmkäfig 30 in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung einen kreisförmigen Querschnitt und das seitliche Heizgerät 42 einen achteckigen Querschnitt aufweisen. Das seitliche Heizgerät 42 umfasst vier Seitenkanten-Heizgeräte und vier Seitenecke-Heizgeräte. Jedes der Seitenkanten-Heizgeräte und jedes der Seitenecke-Heizgeräte sind über ein Eckenverbindungsplättchen miteinander verbunden. Der Tiegel weist einen quadratischen Querschnitt auf und der Abstand zwischen dem seitlichen Heizgerät 42 und dem Tiegel 23 kann bei L liegen.

[0062] Wie sich aus **Fig. 3** ergibt, ist in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass der Wärmedämmkäfig 30 einen kreisfö-

migen Querschnitt und das seitliche Heizgerät 42 ebenfalls einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen kann, während der Tiegel einen viereckigen Querschnitt aufweist.

[0063] Wie aus **Fig. 4** zu entnehmen ist, ist in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass der Wärmedämmkäfig 30 einen achteckigen Querschnitt und das seitliche Heizgerät 42 ebenfalls einen achteckigen Querschnitt aufweisen kann, während der Tiegel einen quadratischen Querschnitt aufweist.

[0064] Ein anderes Beispiel der vorliegenden Erfindung stellt ferner einen Kristallisationsofen 200 für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium bereit, der sich von dem Kristallisationsofen 100 für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium vor allem dadurch unterscheidet, dass:

Ein der Wärmeaustauschplattform 22 zugewandtes Ende der Drehwelle 21 ist mit einer Verbindungsplatte 212 versehen, an der mehrere Verbindungsstangen 213 vorgesehen sind, die mit der Wärmeaustauschplattform 22 fest verbunden sind, wie sich aus **Fig. 5** ergibt.

[0065] Optional können sowohl die Verbindungsplatte 212 als auch die Verbindungsstange 213 gute Wärmeleitfähigkeit und Wärmeableitungsfähigkeit aufweisen.

[0066] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass der Kristallisationsofen ferner mehrere Kühlkörper umfasst, die auf einer der Wärmeaustauschplattform zugewandten Seite angeordnet sind, wobei jeder der Kühlkörper über eine Stützstange an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers befestigt ist.

[0067] Wie aus **Fig. 5** zu entnehmen ist, ist an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers 12 ferner eine Stützstange 121 vorgesehen, wobei ein der Wärmeaustauschplattform 22 zugewandtes Ende der Stützstange 121 einen Kühlkörper 122 umfasst, der der Oberfläche des untersten Bereichs der Wärmeaustauschplattform 22 zugewandt angeordnet ist. Der Kühlkörper 122 weist gute Wärmeableitungsfähigkeit auf, womit die Wärme der Wärmeaustauschplattform 22 weiter abgeführt werden kann. Optional können der Kühlkörper 122 und die Wärmeaustauschplattform 22 aus demselben Material hergestellt sein.

[0068] Optional liegt der Abstand zwischen dem Kühlkörper 122 und der Oberfläche einer Seite der Wärmeaustauschplattform 22 zwischen 50 und 100 mm. Beispielsweise kann der Abstand zwischen dem Kühlkörper 122 und der Oberfläche einer Seite der Wärmeaustauschplattform 22 bei 50 mm oder 60

mm oder 70 mm oder 80 mm oder 90 mm oder 100 mm liegen.

[0069] Optional lässt sich die Größe des Kühlkörpers in Abhängigkeit von der Größe der Wärmeaustauschplattform 22 einstellen, wobei die Drehung der Wärmeaustauschplattform 22 nicht durch den Kühlkörper beeinträchtigt wird.

[0070] Bei herkömmlichen Kristallisationsöfen ist eine ungleichmäßige Erwärmung des Silizium-Materials innerhalb des Tiegels schwer zu erwarten und für einen Teilbereich könnte eine unzureichende Menge abgestrahlter Wärme zur Verfügung stehen, was zu zahlreichen ungleichmäßigen unebenen Grenzflächen an vier Seiten des hergestellten Siliziumingots führt, sodass der Siliziumingot zahlreiche rote Bereiche (engl. red zones) am Fußbereich aufweisen. Mit dem Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel kann eine gleichmäßige Erwärmung eines Tiegels bei dessen Drehung ermöglicht werden, womit eine gleichmäßige Wärmeverteilung an irgendeiner Stelle innerhalb des Tiegels erzielt wird, sodass das Problem zahlreicher unebener Grenzflächen an einzelnen Seitenflächen eines Siliziumingots verbessert, die Anzahl an roten Bereichen (engl. red zones) des Fußbereichs des hergestellten Siliziumingots verringert und somit die Qualität und die Ausbeute des Siliziumingots erhöht werden können. Innerhalb des Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium kann ferner eine Umlaufkühlung erzielt werden, womit das Kühlungsproblem innerhalb des Kristallisationsofens bis zu einem gewissen Grad verbessert werden kann. Bei dem Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium wird ferner mittels einer Magnetofluid-Dichtungseinrichtung eine Trennung des Ofenkörpers von der Außenumgebung ermöglicht, womit die Verschmutzung durch äußere Verunreinigung und instabile Temperatur innerhalb des Ofenkörpers vermieden werden.

[0071] Der erfindungsgemäße Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium kann zum Herstellen von Siliziumingots verschiedener Arten, beispielsweise monokristallinen Siliziumingots, polykristallinen Siliziumingots oder quasimonokristallinen Siliziumingots eingesetzt werden.

[0072] Ein anderes nicht erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel sieht ferner ein Herstellungsverfahren für einen Siliziumingot vor, das Folgendes umfasst:

- Bereitstellen eines Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium und Hineinlegen einer Impfkristallschicht in den Tiegel des Kristallisationsofens,

- Einfüllen eines Silizium-Materials auf die Impfkristallschicht, Schmelzen des Silizium-Materials innerhalb des Tiegels zur Siliziumschmelze durch Erwärmen, und Einstellen des Wärmefelds vor vollständigem Schmelzen der Impfkristallschicht, um einen unterkühlten Zustand einzuleiten, sodass Kristall aus der Siliziumschmelze auf der Grundlage der Impfkristallschicht gezüchtet wird,

- Ausglühen und Abkühlen nach Kristallisation der ganzen Siliziumschmelze, um einen Siliziumingot zu erhalten.

[0073] Dabei unterschieden sich die konkreten Herstellungsvorgänge für monokristalline Siliziumingots, polykristalline Siliziumingots oder quasimonokristalline Siliziumingots voneinander u.a. an dem Silizium-Material, der Temperatur und der Reaktionszeit.

[0074] Siliziumingots, die unter Verwendung des Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hergestellt werden, zeichnen sich durch Qualität und Gutteilrate, die wesentlich höher als jene bei herkömmlichen Kristallisationsöfen sind. Des Weiteren zeichnet sich das nicht erfindungsgemäße Herstellungsverfahren durch Einfachheit, hohe Effizienz und niedrige Kosten aus und somit kann die Anzahl an roten Bereichen (engl. red zones) im Fußbereich des Siliziumingots erheblich verringert und die Ausbeute erhöht werden.

[0075] Erstes Ausführungsbeispiel: Ein Herstellungsverfahren für einen Siliziumingot umfasst Folgendes:

- Bereitstellen eines Kristallisationsofens für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium nach dem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, Verwenden eines G6-Tiegels mit einem Innendurchmesser von 1000 mm * 1000 mm, wobei eine Siliziumoxid-Beschichtung auf dem untersten Bereich und der Seitenwand des Tiegels gesprüht ist, und Auflegen einer monokristallinen Impfkristallschicht mit einer Dicke von 20 mm auf den untersten Bereich des Tiegels,

- Einfüllen eines Silizium-Materials auf die Impfkristallschicht, Einschalten eines Umlauf-Kühlwassersystems und eines Drehmotors, um den Tiegel beim Drehen zu erwärmen, Schmelzen des Silizium-Materials innerhalb des Tiegels zur Siliziumschmelze, und Einstellen des Wärmefelds vor vollständigem Schmelzen der Impfkristallschicht, um einen unterkühlten Zustand einzuleiten, sodass Kristall aus der Siliziumschmelze auf der Grundlage der Impfkristallschicht gezüchtet wird,

- Ausglühen und Abkühlen nach Kristallisation der ganzen Siliziumschmelze, um einen monokristallinen Siliziumingot zu erhalten.

Auswirkung des Ausführungsbeispiels

[0076] Der monokristalline Siliziumingot, der mittels des Verfahrens nach dem ersten Ausführungsbeispiel hergestellt wird, und ein Siliziumingot, der unter Verwendung eines herkömmlichen Kristallisationsofens für kristallines Silizium mit dem gleichen Prozess hergestellt wird, werden jeweils in Siliziumblöcke geschnitten und dann werden eine Sichtprüfung und eine Minoritätsladungsträgerlebensdauer-Prüfung durchgeführt.

[0077] Das Ergebnis zeigt, dass an der Oberfläche und dem Rand des Umfangs des Siliziumingots, der mittels eines herkömmlichen Kristallisationsofens hergestellt wird, unebene Grenzflächen verschiedener Größen vorhanden sind, während hingegen die ganze Oberfläche des monokristallinen Siliziumingots, der mittels des erfindungsgemäßen Kristallisationsofens hergestellt wird, eben ist. Des Weiteren weist der rote Bereich (engl. red zone) im Fußbereich des monokristallinen Siliziumingots, der mittels eines herkömmlichen Kristallisationsofens hergestellt wird, eine größere Höhe auf, während hingegen der rote Bereich (engl. red zone) im Fußbereich des monokristallinen Siliziumingots, der mittels des erfindungsgemäßen Kristallisationsofens hergestellt wird, eine geringere Höhe aufweist und das Minoritätsladungsträger-Spektrum des Siliziumblocks sauberer ist, was darauf hinweist, dass der monokristalline Siliziumingot, der mittels des erfindungsgemäßen Kristallisationsofens hergestellt wird, sich durch bessere Qualität auszeichnet. Gegenüber dem monokristallinen Siliziumingot, der mittels eines herkömmlichen Kristallisationsofens hergestellt wird, wird die Ausbeute des monokristallinen Siliziumingot, der mittels des Herstellungsverfahrens nach dem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung hergestellt wird, um mehr als 8% erhöht.

[0078] Es ist darauf hinzuweisen, dass anhand der Offenbarung und Erläuterung der vorstehenden Beschreibung Fachleute auf dem Gebiet der Erfindung verschiedene Abänderungen und Modifikationen an den vorstehenden Ausführungsformen vornehmen können. Daher wird die vorliegenden Erfindung keineswegs auf die konkreten Ausführungsformen, die oben offenbart und beschrieben werden, eingeschränkt und vielmehr sollen gleichwertige Abänderungen und Modifikationen von dem Schutzzumfang der Ansprüche der Erfindung umfasst sein. Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass die Begriffe, die in der Beschreibung verwendet werden, nur zum Erleichtern der Erläuterung dienen, ohne die vorliegende Erfindung in irgendeiner Weise einzuschränken.

BEZUGSZEICHEN

10	Ofenkörper
11	oberer Ofenkörper
12	unterer Ofenkörper
121	Stützstange
122	Kühlkörper
13	Wellenbohrung
20	Stützplattform
21	Drehwelle
211	Kühlfüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung
212	Verbindungsplatte
213	Verbindungsstange
22	Wärmeaustauschplattform
23	Tiegel
24	Drehantrieb
30	Wärmedämmkäfig
31	obere Wärmedämmplatte
32	seitliche Wärmedämmplatte
33	untere Wärmedämmplatte
34	Warmhalteleiste
40	Heizgerät
41	oberes Heizgerät
42	seitliches Heizgerät
50	Schutzplatte
51	seitliche Schutzplatte
52	untere Schutzplatte
60	Kühlfüssigkeit-Versorgungssystem
70	Wellrohr
71	Magnetofluid-Dichtungseinrichtung
100,	200Kristallisationsofen

Patentansprüche

1. Kristallisationsofen für durch gerichtete Erstarrung gezüchtetes kristallines Silizium, wobei er Folgendes umfasst:
 - einen Ofenkörper (10), der einen oberen Ofenkörper (11) und einen unteren Ofenkörper (12), die aufeinander abgestimmt sind, umfasst, wobei der unterste Bereich des unteren Ofenkörpers (12) mit einer Wellenbohrung (13) versehen ist,
 - eine Stützplattform (20), die eine Drehwelle (21) und eine an einem Ende der Drehwelle (21) befestigte Wärmeaustauschplattform (22) umfasst, an welcher Wärmeaustauschplattform (22) ein Tiegel

(23) vorgesehen ist, wobei das andere Ende der Drehwelle (21) durch die Wellenbohrung (13) hindurchgeht und mit einem außerhalb des unteren Ofenkörpers (12) vorgesehenen Drehantrieb (24) verbunden ist, welcher Drehantrieb (24) zum Versetzen der Drehwelle (21) in Drehung dient, um somit den Tiegel (23) in Mitdrehung zu versetzen, wobei innerhalb der Drehwelle (21) ferner eine Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung (211) vorgesehen ist, die zum Einleiten einer Kühlflüssigkeit und zum Zirkulieren der Kühlflüssigkeit dient, um somit eine Umlaufkühlung der Drehwelle (21) zu verwirklichen,

- eine Schutzplatte (50), die an einer äußeren Seitenwand des Tiegels (23) angeordnet ist,
- einen Wärmedämmkäfig (30) und ein innerhalb des Wärmedämmkäfigs (30) vorgesehenes Heizgerät (40),

wobei bei dem Wärmedämmkäfig (30) eine obere Wärmedämmplatte (31), eine seitliche Wärmedämmplatte (32) und eine untere Wärmedämmplatte (33) eine dichte Warmfeldkammer bilden, wobei der Tiegel (23), die Wärmeaustauschplattform (22), die Schutzplatte (50) und das Heizgerät (40) jeweils innerhalb des Wärmedämmkäfigs (30) angeordnet sind,

wobei die obere Wärmedämmplatte (31) und die seitliche Wärmedämmplatte (32) miteinander verbunden sind und somit eine Warmhaltehaube bilden, welche Warmhaltehaube von der unteren Wärmedämmplatte (33) getrennt werden kann, wobei an einer der unteren Wärmedämmplatte (33) zugewandten Stelle an der Oberfläche der Innenwand der seitlichen Wärmedämmplatte (32) ferner mehrere Warmhalteleisten (34) vorgesehen sind, wobei die Warmhalteleiste (34) zum Abdecken eines Zwischenraums zwischen der seitlichen Wärmedämmplatte (32) und der unteren Wärmedämmplatte (33) und zum Warmhalten dient.

2. Kristallisationsofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass außerhalb des unteren Ofenkörpers (12) ferner ein Kühlflüssigkeit-Versorgungssystem (60) vorgesehen ist, das mit der Kühlflüssigkeit-Zirkulationsrohrleitung (211) verbunden ist.

3. Kristallisationsofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass er ferner eine Dichtungseinrichtung umfasst, die zum Abdichten eines Zwischenraums zwischen der Drehwelle (21) und der Innenwand der Wellenbohrung (13) dient.

4. Kristallisationsofen nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dichtungseinrichtung eine Magnetofluid-Dichtungseinrichtung (71) umfasst, die auf der Drehwelle (21) aufgeschoben und an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers (12) befestigt ist.

5. Kristallisationsofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schutzplatte (50) eine seitliche Schutzplatte (51) und eine untere Schutzplatte (52) umfasst, wobei die untere Schutzplatte (52) zwischen dem untersten Bereich des Tiegels (23) und der Wärmeaustauschplattform (22) angeordnet und an der Oberfläche der unteren Schutzplatte (52) ein Antirutschmuster vorgesehen ist.

6. Kristallisationsofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass er ferner mehrere Kühlkörper (122) umfasst, die auf einer der Wärmeaustauschplattform (22) zugewandten Seite angeordnet sind, wobei jeder der Kühlkörper (122) über eine Stützstange (121) an dem untersten Bereich des unteren Ofenkörpers (12) befestigt ist.

7. Kristallisationsofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein der Wärmeaustauschplattform (22) zugewandtes Ende der Drehwelle (21) mit einer Verbindungsplatte (212) versehen ist, an der mehrere Verbindungsstangen (213) vorgesehen sind, die mit der Wärmeaustauschplattform (22) fest verbunden sind.

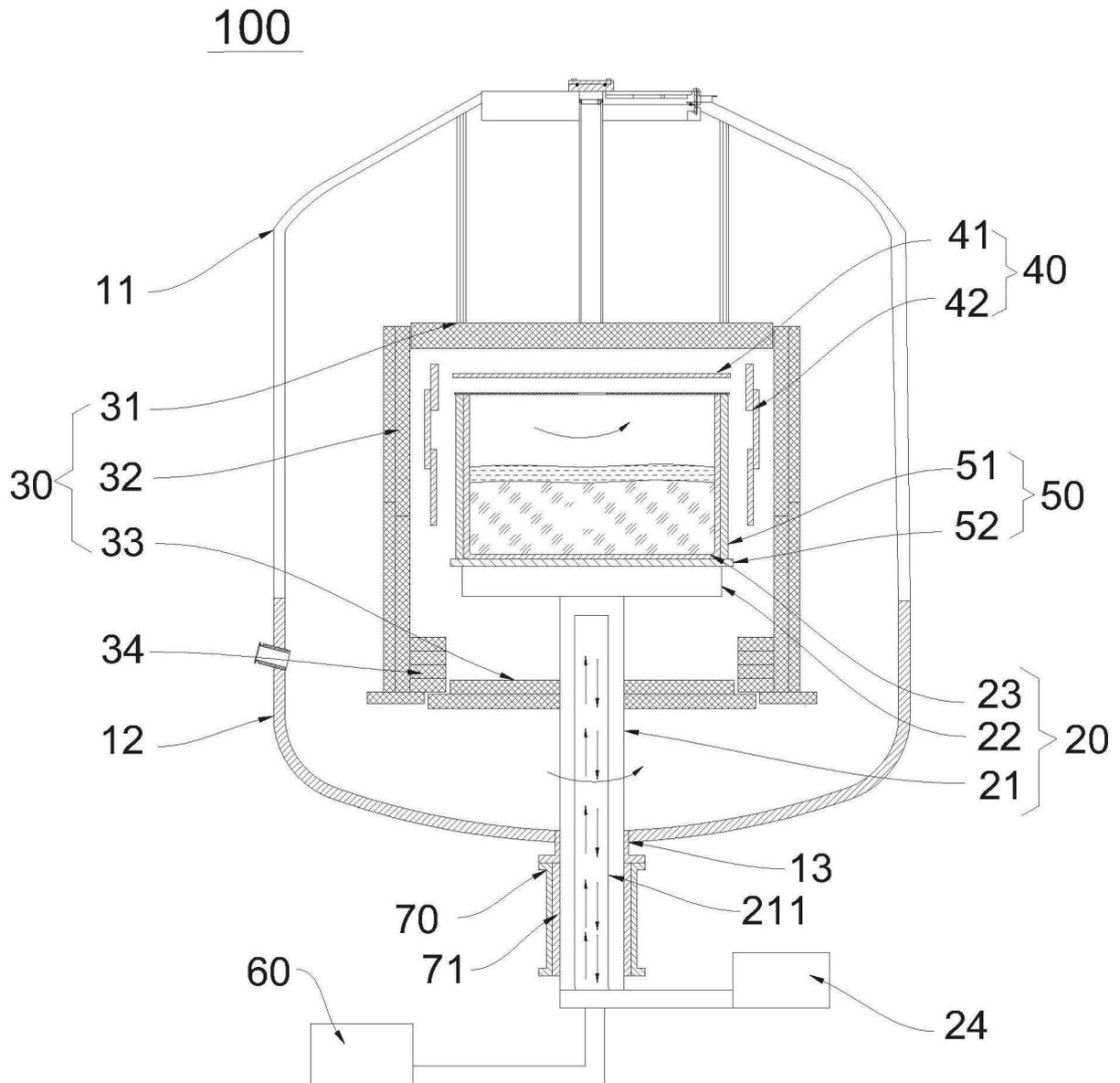
8. Kristallisationsofen nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Heizgerät (40) ein oberes Heizgerät (41) und ein seitliches Heizgerät (42) umfasst, wobei das obere Heizgerät (41) oberhalb des Tiegels (23) und das seitliche Heizgerät (42) auf der äußeren Seite der Seitenwand des Tiegels (23) angeordnet ist, wobei beim Drehen des Tiegels (23) das seitliche Heizgerät (42) den Tiegel (23) nicht berührt, und wobei der Querschnitt des seitlichen Heizgeräts (42) u.a. kreisförmig, quadratisch oder polygonal ausgebildet ist.

9. Kristallisationsofen nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die obere Wärmedämmplatte (31), die seitliche Wärmedämmplatte (32) und/oder die untere Wärmedämmplatte (33) mindestens eine Warmhalteschicht umfassen.

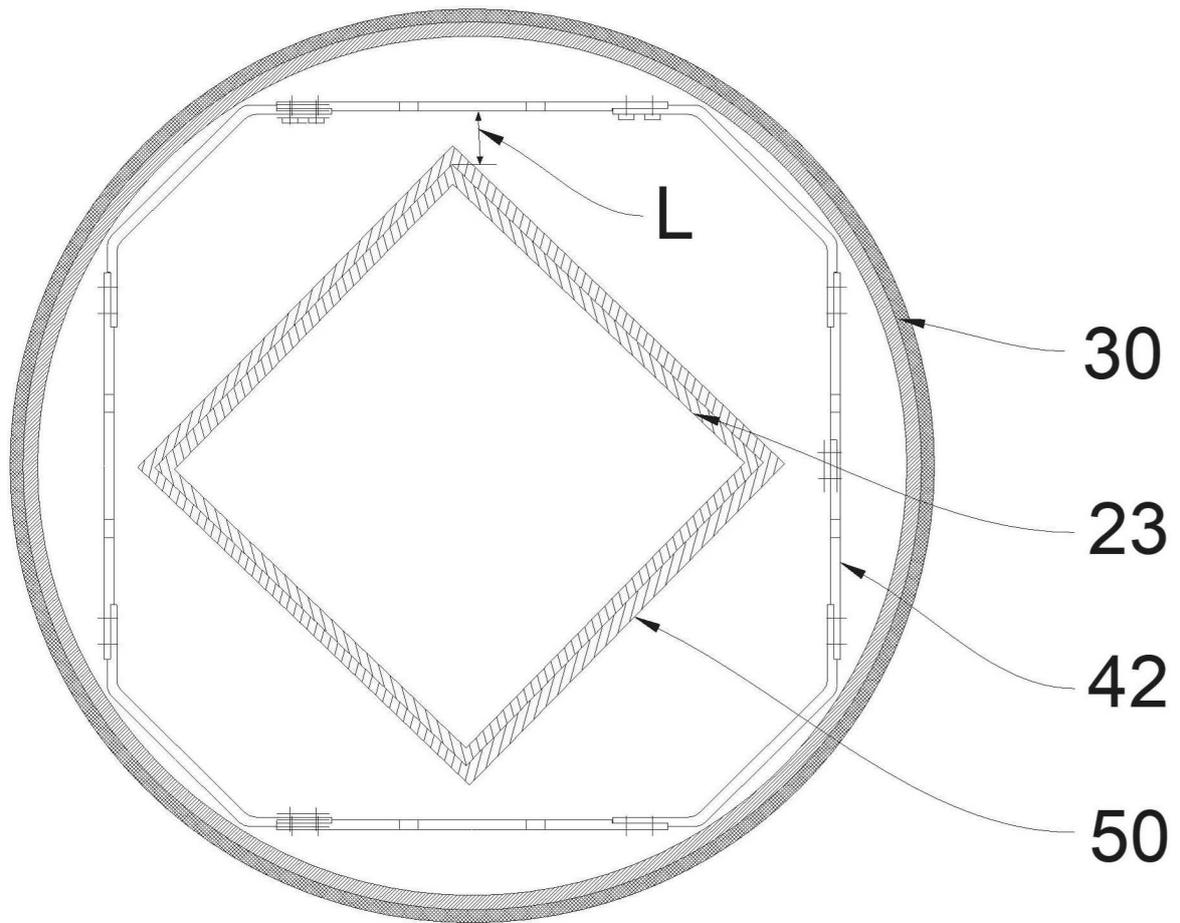
10. Anwendung des Kristallisationsofens nach einem der Ansprüche 1 bis 9 bei der Herstellung von monokristallinem Silizium, polykristallinem Silizium oder quasimonokristallinem Silizium.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

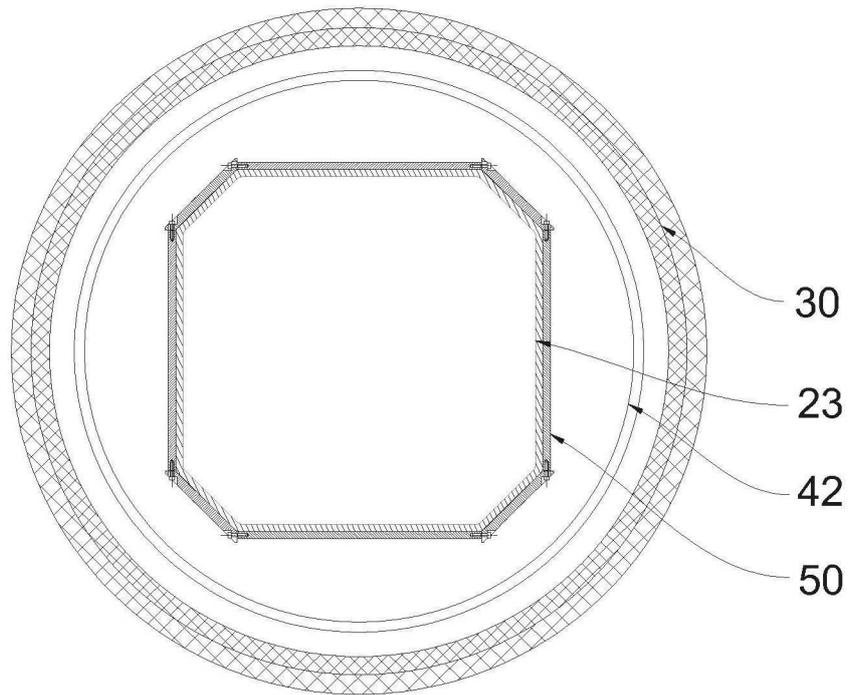
Anhängende Zeichnungen



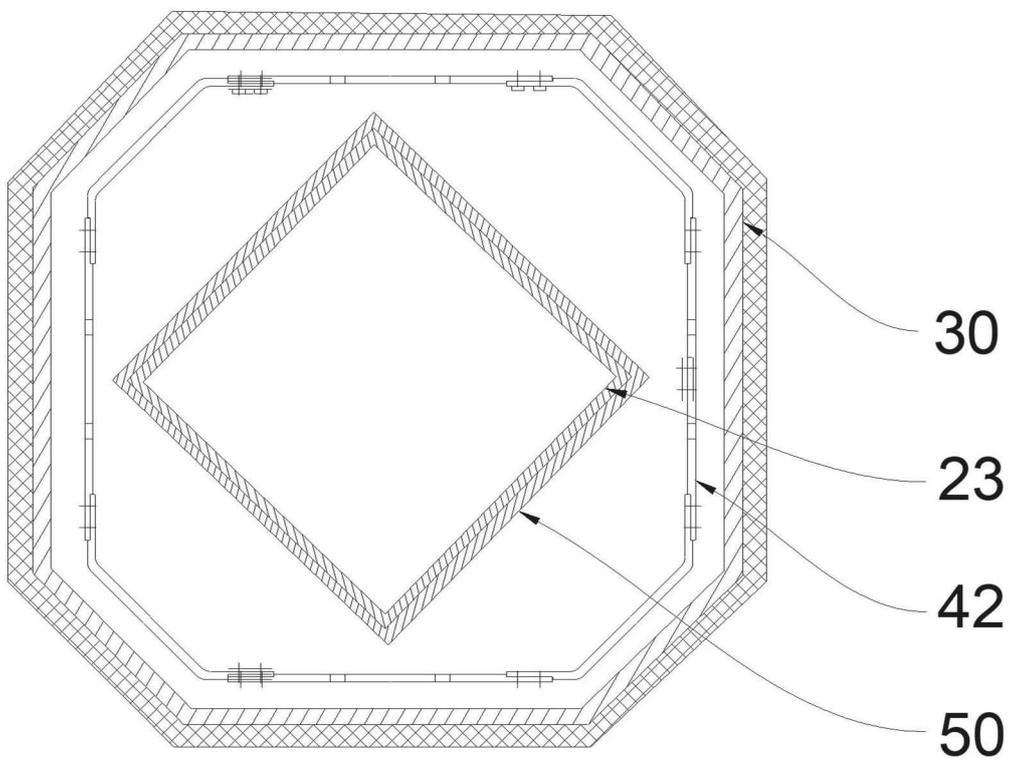
Figur 1



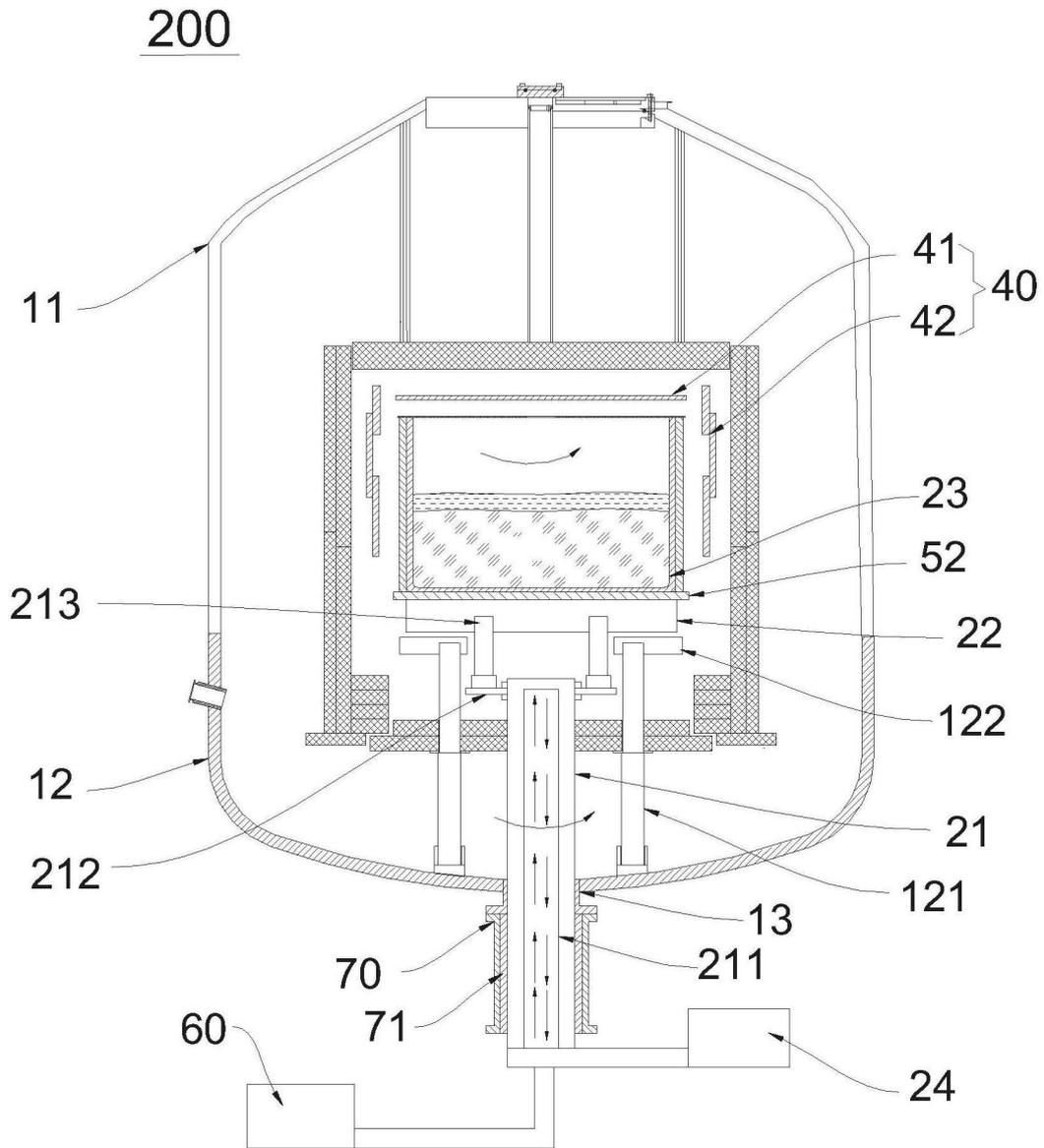
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5