

System und Verfahren zur Temperaturmessung sowie Kalibrationsverfahren

Die vorliegende Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zur Temperaturmessung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, sowie ein Kalibrationsverfahren für wenigstens ein Temperaturmessmittel eines Hochtemperaturofens.

Zur Behandlung von Werkstücken, insbesondere Halbleiterwafern, werden üblicherweise Hochtemperaturöfen mit einer beheizbaren, auch als „Rohr“ bezeichneten Prozesskammer eingesetzt. Die Werkstücke werden mithilfe eines sogenannten „Boots“ in der Prozesskammer angeordnet und dort dann, gegebenenfalls in einem Vakuum oder einer vorgegebenen Gasatmosphäre, auf Temperaturen von über 2000 °C aufgeheizt. Dadurch können Prozesse wie Diffusion, Trocken- oder Nassoxidation oder Annealing, beispielsweise mit Wasserstoff H₂, Argon Ar oder Stickstoff N₂, durchgeführt werden.

Um derartige Prozesse präzise anstoßen und steuern zu können, wird eine möglichst genaue Kontrolle der Temperatur in der Prozesskammer angestrebt. Da aufgrund der hohen Temperaturen und des Aufwands beim Anschluss in der gegebenenfalls gasdicht verschlossenen Prozesskammer sowie einer potentiellen Kontamination der Prozesskammer durch Sensormaterialien die Anordnung von Temperatursensoren innerhalb der Prozesskammer im Regelbetrieb im Allgemeinen ausscheidet, werden üblicherweise Temperaturmessmittel zur indirekten Temperaturermittlung außerhalb der Prozesskammer vorgesehen. Solche externen Temperaturmessmittel, zum Beispiel in Form von Pyrometern oder Thermoelementen, messen von außen die Temperatur der Prozesskammerwandung oder einer Prozesskammerisolierung an einer beliebigen Stelle,

d. h. die Außentemperatur der Prozesskammer, aus welcher die Innentemperatur der Prozesskammer abgeleitet wird. Dazu müssen die externen Temperaturmessmittel zuvor jedoch entsprechend kalibriert werden.

5

Die Kalibration externer Temperaturmessmittel wird üblicherweise mithilfe eines Thermoelements, welches durch eine im Regelbetrieb geschlossene Öffnung in die Prozesskammer eingeführt wird, durchgeführt. Ein Problem hierbei ist, dass Thermoelemente insbesondere bei hohen Temperaturen von zum Beispiel 1500 °C oder mehr zum Teil erhebliche Messfehler erzeugen und/oder Stoffe enthalten können, welche bei diesen Temperaturen flüchtig sind und die Prozesskammer möglicherweise kontaminieren. Oberhalb von 1700 °C kann auch eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit bestehen.

Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Temperaturmessung in einer Prozesskammer und die Kalibration externer Temperaturmessmittel zu verbessern, insbesondere präziser zu machen und/oder zuverlässig auch bei Temperaturen oberhalb von 1700 °C zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein System und ein Verfahren zur Temperaturermittlung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, sowie einem Kalibrationsverfahren für wenigstens ein Temperaturmessmittel eines Hochtemperaturofens gemäß den unabhängigen Ansprüchen.

Bevorzugte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche und der folgenden Beschreibung.

Ein System zur Temperaturermittlung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, gemäß einem ersten Aspekt der

Erfindung umfasst eine beheizbare Prozesskammer, insbesondere zur Aufnahme von zu prozessierenden Werkstücken. Die Prozesskammer weist eine Öffnung auf. Erfindungsgemäß ist eine, insbesondere außerhalb der Prozesskammer, d. h. ausschließlich, vor der Öffnung angeordnete Messvorrichtung zur berührungslosen Ermittlung einer Temperatur innerhalb der Prozesskammer durch die, gegebenenfalls verschlossene, Öffnung hindurch vorgesehen.

10 Eine derartige Messvorrichtung im Sinne der vorliegenden Erfindung ist vorzugsweise eine Vorrichtung, die zum Erfassen von elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Wärme- bzw. Infrarotstrahlung, eingerichtet ist. Die Messvorrichtung kann beispielsweise als Pyrometer ausgebildet sein. Durch Erfassen
15 der von einem Messobjekt, insbesondere einem Bereich seiner Oberfläche, abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung kann die Messvorrichtung eine Temperatur des Messobjekts ermitteln.

In der Prozesskammer ist zweckmäßigerweise ein Prozessvolumen
20 definiert, in dem zu prozessierende Werkstücke anordenbar sind.

Eine Öffnung einer Prozesskammer im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Zugang zum Prozessvolumen in der Prozesskammer, über den elektromagnetische Strahlung aus zumindest einem
25 Wellenlängenbereich, beispielsweise im Infrarotbereich, in die Prozesskammer ein- und/oder aus der Prozesskammer heraus dringen kann. Ist diese Öffnung durch einen Verschluss, insbesondere hermetisch, z.B. gasdicht, verschließbar, weist diese
30 zweckmäßigerweise ein Fenster auf. Vorzugsweise ist das Fenster dann für elektromagnetische Strahlung aus zumindest einem Wellenlängenbereich, beispielsweise im Infrarotbereich, durchlässig, um eine Temperatur in der Prozesskammer von außerhalb

berührungslos messen zu können. Das Fenster definiert in diesem Sinne den Zugang zum Prozessvolumen.

Um eine Kontamination des Prozessvolumens in der Prozesskammer durch die Öffnung vermeiden zu können, ist als Alternative zu einem Verschluss auch denkbar, das Prozessvolumen mittels eines in das Prozessvolumen eingeleiteten Schutzgases, zum Beispiel Argon, zu schützen. Auch durch ein Schutzgas hindurch ist eine Temperatur in der Prozesskammer dann berührungslos ermittelbar, da das Schutzgas zweckmäßigerweise elektromagnetische Strahlung transmittiert.

Ein Aspekt der Erfindung beruht auf dem Ansatz, eine berührungslose, strahlungsbasierte Temperaturmessung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, durchzuführen. Zu diesem Zweck ist bzw. wird eine entsprechende Messvorrichtung, zum Beispiel ein Pyrometer, vor einer Öffnung der Prozesskammer angeordnet. Mittels dieser Messvorrichtung lässt sich eine Temperatur, insbesondere die Oberflächentemperatur eines Messobjekts, innerhalb der Prozesskammer durch die gegebenenfalls verschlossene Öffnung, etwa durch ein Fenster in einem Verschluss oder durch eine Schutzgasatmosphäre, hindurch ermitteln. Infolgedessen ist eine in-situ-Ermittlung der Temperatur von außerhalb der Prozesskammer möglich. Das Vorsehen einer Messvorrichtung vor der Prozesskammeröffnung erlaubt insbesondere eine in-situ-Referenz zu einer beliebigen Temperaturskala. Insbesondere können auch Temperaturen über 1700 °C in-situ zuverlässig erfasst werden.

30

Als problematisch bei einer solchen berührungslosen Temperaturermittlung durch die Prozesskammeröffnung hindurch können sich die dadurch ergebenden geometrischen Beschränkungen des Sichtfelds der Messvorrichtung herausstellen. Insbesondere

kann ein Isolationsmittel, welches der thermischen Isolation des Öffnungsbereichs , etwa eines Prozesskammerverschlusses von einem Prozessvolumen in der Prozesskammer, dient, eine berührungslose Ermittlung der Temperatur innerhalb des Prozess-

5 volumens erschweren, da nicht nur durch die Öffnung, sondern auch durch einen sich an die Öffnung anschließenden und in das Prozessvolumen mündenden engen Kanal im Isolationsmittel gemessen werden muss.

10 In einer bevorzugten Ausführungsform ist daher eine Manipulationsvorrichtung zum Ausrichten eines Erfassungsbereichs der Messvorrichtung vorgesehen. Die Manipulationsvorrichtung kann beispielsweise dazu eingerichtet sein, den Erfassungsbereich der Messvorrichtung relativ zur Prozesskammer und gegebenen-

15 falls darin angeordneten Komponenten zu positionieren, d. h. die Lage des Erfassungsbereichs insbesondere relativ zu einer Längsachse der Prozesskammer zu ändern. Dadurch kann vermieden werden, dass Teile der Öffnung oder ihres Verschlusses und/o-

20 der Teile des Isolationsmittels, insbesondere ein Teil der Kanalwandung, innerhalb des Erfassungsbereichs liegen. Insbesondere kann der Erfassungsbereich so auf ein Messobjekt im Prozessvolumen, dessen Temperatur bestimmt werden soll, ausgerichtet werden.

25 Ein Erfassungsbereich im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Bereich, in dem die Messvorrichtung eine Temperatur bzw. die damit korrespondierende elektromagnetische Strahlung erfasst.

30 Eine Ausrichtung des Erfassungsbereichs kann beispielsweise durch Manipulation des Strahlengangs der von der Messvorrichtung erfassten elektromagnetischen Strahlung erzielt werden. Daher ist es zweckmäßig, dass die Manipulationsvorrichtung als

Optik ausgebildet ist oder zumindest eine Optik aufweist. Mit-
hilfe der Optik kann elektromagnetische Strahlung aus dem Pro-
zessvolumen in der Prozesskammer durch den Kanal im Isolati-
onsmittel und die Öffnung auf die Messvorrichtung, insbeson-
5 dere einen entsprechenden Sensor der Messvorrichtung, abgebil-
det werden.

Alternativ oder zusätzlich kann der Erfassungsbereich auf be-
sonders einfache und aufwandsarme Weise durch Manipulation der
10 Anordnung der Messvorrichtung vor der Prozesskammeröffnung, d.
h. durch Änderung der Position und/oder Ausrichtung der Mess-
vorrichtung relativ zur Prozesskammer, ausgerichtet werden.
Daher weist die Manipulationsvorrichtung zweckmäßigerweise
eine Positioniervorrichtung, zum Beispiel einen Aktor, zur Be-
15 wegung der Messvorrichtung relativ zur Prozesskammer auf.
Durch die Bewegung mittels der Positioniervorrichtung ist
hierbei insbesondere eine (Neu-) Positionierung der Messvor-
richtung, zum Beispiel an vorgegebenen Koordinaten, und eine
(Neu-) Ausrichtung der Messvorrichtung, zum Beispiel in eine
20 vorgegebene Richtung, möglich. Gegenüber einer Optik hat die
Positioniervorrichtung den Vorteil, dass sie leichter reali-
sierbar und robuster ist.

Um die Messvorrichtung optimal positionieren und ausrichten zu
25 können, d. h. den Erfassungsbereich der Messvorrichtung auf
ein Messobjekt ausrichten und so beispielsweise eine Erfassung
von elektromagnetischer Strahlung, die von der Kanaloberfläche
des Kanals im Isolationsmittel ausgeht, vermeiden zu können,
ist die Positioniervorrichtung vorzugsweise zum Bewegen der
30 Messvorrichtung in wenigstens zwei Freiheitsgraden eingerich-
tet. Besonders bevorzugt ist die Positioniervorrichtung i) zum
Positionieren der Messvorrichtung bezüglich wenigstens zwei
Translationsfreiheitsgraden, insbesondere zur Translation der
Messvorrichtung in einer Ebene parallel zur Öffnung, und ii)

zum Ausrichten der Messvorrichtung bezüglich zwei Rotationsfreiheitsgraden, insbesondere zur Verkipfung der Messvorrichtung relativ zu einer Längsachse der Prozesskammer, eingerichtet.

5

Nach einer derartigen Ausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung kann die mittels der Messvorrichtung ermittelte Temperatur zur Kalibration externer Temperaturmessmittel, insbesondere auch außerhalb des mittels konventioneller Thermoelemente erfassbaren Temperaturbereichs, eingesetzt werden. Beispielsweise kann einem Messwert wenigstens eines (externen) Temperaturmessmittels die mittels der Messvorrichtung aufgrund ihrer zuvor erfolgten Ausrichtung präzise ermittelte Temperatur innerhalb der Prozesskammer zugeordnet werden. Zu diesem Zweck kann eine Steuerungsvorrichtung vorgesehen sein.

Da die von der Messvorrichtung erfasste elektromagnetische Strahlung bei der Transmission durch die Öffnung, etwa des Fensters im Verschluss, beeinflusst werden kann, ist es zweckmäßig, die Messvorrichtung ebenfalls zu kalibrieren, insbesondere vor der Kalibration der externen Temperaturmessmittel. Zu diesem Zweck ist vorzugsweise wenigstens ein innerhalb der Prozesskammer anordenbares, insbesondere zur Halterung durch ein in der Prozesskammer anordenbares Boot ausgebildetes, Temperaturreferenzmittel vorgesehen. Das Temperaturreferenzmittel ist zweckmäßigerweise derart ausgebildet, dass eine Ermittlung seiner Temperatur über einen Temperaturbereich mittels der Messvorrichtung einen Rückschluss auf die tatsächlich herrschende Temperatur innerhalb der Prozesskammer erlaubt. Zum Beispiel kann das Temperaturreferenzmittel derart ausgebildet sein, dass ein durch im Wesentlichen kontinuierliche Ermittlung der Temperatur erhaltener Temperaturverlauf des Temperaturreferenzmittels bei stetig steigender Innentemperatur in

der Prozesskammer ein charakteristisches Merkmal aufweist, das mit einer vorgegebenen Temperatur assoziiert ist.

Zu diesem Zweck kann das Temperaturreferenzmittel eine, beispielsweise auf einem Träger angeordnete, Schmelzprobe mit einer vordefinierten Schmelztemperatur aufweisen. Dabei ist es zweckmäßig, dass die Schmelzprobe derart von dem Träger gehalten ist, dass bei Anordnung des, insbesondere durch ein Boot gehaltenen, Trägers in der Prozesskammer eine Temperatur der Schmelzprobe mittels der Messvorrichtung durch die Öffnung hindurch ermittelbar ist. Folglich ist der Erfassungsbereich der Messvorrichtung zweckmäßigerweise auf die Schmelzprobe ausrichtbar, wenn der Träger in der Prozesskammer angeordnet ist oder wird.

Wird die Temperatur in der Prozesskammer über die Schmelztemperatur der Schmelzprobe angehoben, stagniert die Temperatur der Schmelzprobe aufgrund der Schmelzenthalpie so lange bei der Schmelztemperatur, bis diese im Wesentlichen vollständig geschmolzen ist. Das sich dadurch im mittels der Messvorrichtung ermittelten Temperaturverlauf der Schmelzprobe ergebende Temperaturplateau kann der Schmelztemperatur zugeordnet werden.

Das Material der Schmelzprobe kann in Abhängigkeit der gewünschten Temperatur, bei der kalibriert werden soll, gewählt werden. Soll die Kalibration beispielsweise im Bereich um 1400 °C erfolgen, ist es zweckmäßig, dass die Schmelzprobe Silizium aufweist, insbesondere daraus gefertigt ist (die Schmelztemperatur von Silizium beträgt 1410 °C). Soll die Kalibration dagegen bei höheren Temperaturen beispielsweise im Bereich um 1900 °C erfolgen, ist es zweckmäßig, dass die

Schmelzprobe Rutheniumkarbid aufweist, insbesondere daraus gefertigt ist (die Schmelztemperatur von Rutheniumkarbid beträgt 1954 °C).

5 Der Träger ist dabei zweckmäßigerweise aus einem Material gefertigt, das eine höhere Schmelztemperatur als die Schmelzprobe aufweist. In der Praxis hat sich ein aus Graphit gefertigter Träger als zweckdienlich erwiesen. Durch die chemische und physikalische Stabilität von Graphit können Verunreinigungen der Prozesskammer durch Einbringen des Trägers in die Prozesskammer bzw. durch Erhitzen des Trägers in der Prozesskammer vermieden werden. Zudem kann Graphit verhältnismäßig aufwandsarm bis zu einem hohen Reinheitsgrad gereinigt werden. Grundsätzlich sind aber auch aus Rheniumkarbid, Platinkarbid, Iridiumkarbid oder Rhodiumkarbid gefertigte Träger denkbar. Auch aus derartigen Materialien gefertigte Träger können eine ausreichende chemische und physikalische Stabilität für den Einsatz in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens aufweisen.

20

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist ein in der Prozesskammer anordenbares Positionsreferenzmittel vorgesehen. Während das Temperaturreferenzmittel zweckmäßigerweise der Kalibration der Messvorrichtung im Hinblick auf die Messung der korrekten Temperatur dient, kann das Positionsreferenzmittel der optimalen Ausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung innerhalb der Prozesskammer dienen. Beispielsweise kann das Positionsreferenzmittel zur Bestimmung einer vorgegebenen Ausrichtung des Erfassungsbereichs eingesetzt werden.

25 Anders gesagt kann das Positionsreferenzmittel zum Erzielen einer gewünschten Anordnung der Messvorrichtung außerhalb der Prozesskammer vor der Öffnung, insbesondere zum Erzielen einer gewünschten Positionierung und/oder Ausrichtung der Messvorrichtung relativ zur Prozesskammer, vorgesehen sein. Mittels

30

des Positionsreferenzmittels kann beispielsweise eine Anordnung der Messvorrichtung vor der Öffnung erzielt werden, in welcher der Erfassungsbereich der Messvorrichtung im Bereich der Längsachse der Prozesskammer liegt und/oder elektromagnetische Strahlung von der Messvorrichtung erfasst wird, die im Wesentlichen entlang der Längsachse propagiert. Folglich kann das Positionsreferenzmittel dabei helfen, eine Beeinträchtigung des Messergebnisses der Messvorrichtung durch die Kanalwandung des Kanals im Isolationsmittel zu vermeiden.

10

Grundsätzlich kann das Temperaturreferenzmittel auch als Positionsreferenzmittel eingesetzt werden. Beim Beheizen der Prozesskammer, beispielsweise auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur der Schmelzprobe, kann sich das Temperaturreferenzmittel stärker als das Isolationsmittel, insbesondere die Wandung des Kanals im Isolationsmittel, erhitzen. Der Erfassungsbereich der Messvorrichtung lässt sich dann, zum Beispiel durch ansprechende Bewegung der Messvorrichtung mittels der Positioniervorrichtung, auf den aus Sicht der Messvorrichtung heißesten, durch einen Abschnitt des Temperaturreferenzmittels definierten Bereich in der Prozesskammer ausrichten. In dieser Ausrichtung kann davon ausgegangen werden, dass der Strahlengang, entlang dem vom Temperaturreferenzmittel emittierte elektromagnetischen Strahlung zur Messvorrichtung propagiert, im Wesentlichen entlang der Längsachse der Prozesskammer verläuft. Die Messvorrichtung „sieht“ folglich nur das als Positionsreferenzmittel eingesetzte Temperaturreferenzmittel.

Alternativ oder zusätzlich kann aber auch ein vom Temperaturreferenzmittel verschiedenes (dediziertes) Positionsreferenzmittel zum Erzielen einer gewünschten Ausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung vorgesehen sein oder eingesetzt werden. Dadurch ist es gegebenenfalls auch möglich, eine

Längsposition in der Prozesskammer, d. h. eine oder mehrere Positionen entlang der Längsachse der Prozesskammer, zu referenzieren und gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt zur Temperaturmessung anzufahren.

5

Dazu weist das Positionsreferenzmittel wenigstens eine Lochscheibe auf. Vorzugsweise ist die Lochscheibe derart ausgebildet, dass bei Anordnung in der Prozesskammer eine Temperatur der Lochscheibe in einem Referenzbereich am Rande des Lochs
10 mittels der Messvorrichtung durch die Öffnung hindurch erfassbar ist. Beispielsweise kann das Loch in der Mitte der Lochscheibe angeordnet sein, sodass bei Anordnung der Lochscheibe in der Prozesskammer das Loch im Wesentlichen im Bereich der Längsachse der Prozesskammer positioniert ist.

15

Die Verwendung einer derartigen Lochscheibe hat den Vorteil, dass durch Ausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung auf den Referenzbereich einerseits die Temperatur der Lochscheibe und damit die Innentemperatur in der Prozesskammer
20 an der Längsposition der Lochscheibe in der Prozesskammer ermittelbar ist. Andererseits kann durch das Loch hindurch prinzipiell auch die Temperatur an einer Längsposition hinter der Lochscheibe ermittelt werden.

25 Folglich ist es insbesondere im Hinblick auf eine effiziente Referenzierung von mehreren Längspositionen in der Prozesskammer besonders vorteilhaft, dass das Positionsreferenzmittel mehrere entlang einer Längsachse der Prozesskammer hintereinander anordenbare Referenzscheiben aufweist. Diese Referenz-
30 scheiben sind zweckmäßigerweise derart ausgebildet, dass zumindest in einer vorbestimmten Reihenfolge und/oder Ausrichtung der in der Prozesskammer angeordneten Referenzscheiben relativ zueinander die Temperatur in einem Referenzbereich jeder Temperaturreferenzscheibe mittels der Messvorrichtung

durch die Öffnung hindurch ermittelbar ist. Anders gesagt sind diese mehreren Referenzscheiben vorzugsweise derart ausgebildet, dass zumindest in der vorbestimmten Reihenfolge und/oder Ausrichtung höchstens ein Teil jeder Referenzscheibe durch

5 eine oder mehrere der anderen Referenzscheiben abgedeckt wird. Die Referenzscheiben können dazu beispielsweise als Lochscheiben ausgebildet sein, deren Löcher bei Anordnung in der Prozesskammer, insbesondere im Bereich der Längsachse der Prozesskammer, miteinander fluchten. Mittels mehrerer solcher Re-

10 ferenzscheiben ist es möglich, die Temperatur in der Prozesskammer mittels der Messvorrichtung an unterschiedlichen Längspositionen zu ermitteln, ohne dass ein einzelnes Positionsreferenzmittel dazu mehrmals neu positioniert werden muss.

15 Um insbesondere bei der Anordnung mehrerer Referenzscheiben entlang der Längsachse der Prozesskammer hintereinander an jeder dieser Scheiben eine Temperaturmessung vornehmen zu können, ist es bevorzugt, dass das Positionsreferenzmittel, insbesondere jede der Referenzscheiben, einen Vorsprung aufweist.

20 Der Vorsprung definiert zweckmäßigerweise einen Referenzbereich, in dem bei Anordnung des Positionsreferenzmittels in der Prozesskammer eine Temperatur des Positionsreferenzmittels mittels der Messvorrichtung durch die Öffnung hindurch erfassbar ist, etwa indem der Vorsprung einen Teilbereich des Sicht-

25 felds der Messvorrichtung ausfüllt. Ein solcher Vorsprung kann beispielsweise als ein in das Loch einer Lochscheibe hineinragender Vorsprung ausgebildet sein.

Insbesondere beim Vorsehen mehrerer als Lochscheiben ausgebildeten Referenzscheiben sind die Löcher zweckmäßigerweise als

30 im Wesentlichen kreisrunde Löcher mit einem sich zu Lochmitte hin erstreckenden Vorsprung ausgebildet. Diese Vorsprünge entsprechen vorzugsweise jeweils einem Kreissektor oder Kreisseg-

ment. In bevorzugter Weise decken die Vorsprünge aller Referenzscheiben zusammen dabei 360° ab. Bei drei Referenzscheiben erstrecken sich die Vorsprünge also beispielsweise über jeweils 120°.

5

Ein Temperaturmessverfahren für einen Hochtemperaturofen zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung weist folgende Schritte auf: i) Anordnen einer Messvorrichtung zur berührungslosen Ermittlung einer Temperatur, insbesondere einer Oberflächentemperatur, vor einer verschließbaren Öffnung einer beheizbaren Prozesskammer, insbesondere außerhalb der Prozesskammer, eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung; und ii) Messen einer Temperatur innerhalb der Prozesskammer durch die, gegebenenfalls verschlossene, Öffnung mittels der Messvorrichtung.

Mittels dieses Verfahrens ist eine in-situ-Referenz zu einer beliebigen Temperaturskala möglich. Das Verfahren ist grundsätzlich über einen großen Temperaturbereich einsetzbar, insbesondere auch bei Temperaturen über 1700 °C. Das Verfahren kann beispielsweise eingesetzt werden, um wenigstens ein externes Temperaturmessmittel des Hochtemperaturofens zu kalibrieren.

25

Grundsätzlich kann die in dem Verfahren eingesetzte Messvorrichtung nacheinander vor Prozesskammern unterschiedlicher Hochtemperaturöfen angeordnet werden. Damit ist ein Vergleich von mehreren Hochtemperaturöfen, beispielsweise deren Innentemperatur bei gleicher Heizleistung oder Temperaturhomogenität, prinzipiell über beliebige Zeiträume möglich, da die Messvorrichtung nicht den hohen Temperaturen in den Prozess-

30

kammern ausgesetzt wird und folglich, im Gegensatz zu üblicherweise verwendeten Thermoelementen, keine damit verbundenen Alterungseffekte auftreten.

- 5 Um sicherstellen zu können, dass mittels der Messvorrichtung ausschließlich eine Temperatur in der Prozesskammer, insbesondere in dem Prozessvolumen der Prozesskammer, ermittelt wird, wird vorzugsweise ein Erfassungsbereich der Messvorrichtung vor dem Ermitteln der Temperatur ausgerichtet. Zweckmäßigerweise erfolgt diese Ausrichtung mittels einer Manipulationsvorrichtung. Der Erfassungsbereich kann beispielsweise auf ein Sichtfeld ausgerichtet werden, das durch die Öffnung, insbesondere das Fenster im Verschluss, und/oder ein innerhalb der Prozesskammer angeordnetes Isolationsmittel zur thermischen Isolation des Bereichs an der Prozesskammeröffnung definiert ist. Insbesondere kann der Erfassungsbereich an der Längsachse der Prozesskammer ausgerichtet werden, sodass elektromagnetische Strahlung, die von einer Kanalwandlung des Kanals durch das Isolationsmittel emittiert wird, nicht von der Messvorrichtung erfasst wird.

Eine derartige Ausrichtung des Messbereichs ist beispielsweise durch eine gezielte Manipulation einer Optik, die elektromagnetische Strahlung aus der Prozesskammer, insbesondere dem Prozessvolumen, auf die Messvorrichtung abbildet, erreichbar. Insbesondere können zu diesem Zweck optische Eigenschaften der Optik gezielt geändert werden, etwa durch Bewegen von Linsen und/oder Blenden relativ zueinander, Ändern von Brechungsindizes optischer Elemente und/oder dergleichen.

30

Alternativ oder zusätzlich kann die Ausrichtung des Messbereichs auf besonders einfache und aufwandsarme Weise auch durch entsprechende Ansteuerung einer Positioniervorrichtung erfolgen. Mittels einer solchen Positioniervorrichtung wird

- die Messvorrichtung - und damit auch ihr Messbereich - zweckmäßigerweise bezüglich wenigstens zwei Freiheitsgraden ausgerichtet. Insbesondere kann die Messvorrichtung dadurch bezüglich zwei Translationsfreiheitsgraden positioniert, etwa durch
5 Bewegung in einer Ebene parallel zur Öffnung, und/oder bezüglich zwei Rotationsfreiheitsgraden ausgerichtet, etwa durch Verkippung der Messvorrichtung relativ zur Längsachse der Prozesskammer, werden.
- 10 Um mittels der Manipulationsvorrichtung, insbesondere der Positioniervorrichtung, eine optimale Ausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung erzielen zu können, bei der die Temperatur in der Prozesskammer zuverlässig bestimmt werden kann, wird vorzugsweise ein Positionsreferenzmittel mit
15 einem Referenzbereich in der Prozesskammer angeordnet. Das Positionsreferenzmittel wird zweckmäßigerweise derart angeordnet und/oder ist derart ausgebildet, dass die Temperatur des Positionsreferenzmittels zumindest in einem Referenzbereich des Positionsreferenzmittels mittels der Messvorrichtung durch die
20 Öffnung hindurch ermittelbar ist. Das Positionsreferenzmittel ist zweckmäßigerweise also derart anzuordnen, dass von ihm emittierte elektromagnetische Strahlung durch die Öffnung hindurch von der Messvorrichtung erfassbar ist.
- 25 Das Positionsreferenzmittel wird in bevorzugter Weise durch Beheizung der Prozesskammer erhitzt und eine Ausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung als eine Referenzausrichtung, in welcher die Messvorrichtung eine Temperatur im Referenzbereich erfasst, ermittelt. Dabei ist die Referenzausrichtung bevorzugt dadurch festgelegt, dass die in dieser Ausrichtung ermittelte Temperatur ein vorgegebenes Temperaturkriterium erfüllt. Ein solches Temperaturkriterium kann beispielsweise durch das Erreichen eines Temperaturmaximums gegeben sein. Die Referenzausrichtung liegt vorzugsweise also vor,
- 30

wenn mittels der Messvorrichtung ein Temperaturmaximum oder zumindest ein Bereich, in dem die Temperatur höher ist als in einem angrenzenden Bereich, gefunden wird. In anderen Worten kann die optimale Ausrichtung des Erfassungsbereichs durch
5 eine „Heißpunktsuche“ gefunden werden (wobei unter dem „heißesten Punkt“ in der Praxis ein Bereich zu verstehen ist). Durch die Erhitzung des Referenzmittels in der Prozesskammer kann dabei sichergestellt werden, dass das gefundene Temperaturmaximum bzw. der Bereich mit gegenüber dem Umfeld erhöhter
10 Temperatur in der Prozesskammer, insbesondere im Prozessvolumen, liegt.

Grundsätzlich lassen sich mit diesem Ansatz in effizienter Weise auch mehrere Referenzausrichtungen finden, die mit unterschiedlichen Längspositionen in der Prozesskammer korrespondieren. Dazu werden zweckmäßigerweise mehrere Referenzscheiben des Positionsreferenzmittels entlang der Längsachse der Prozesskammer hintereinander angeordnet. Die Anordnung erfolgt zweckmäßigerweise derart, dass die Temperatur jeder Referenzscheibe, insbesondere zumindest in einem Referenzbereich der jeweiligen Referenzscheibe, mittels der Messvorrichtung durch die Öffnung erfassbar ist. Dann kann eine vorgegebene Temperaturverteilung in der Prozesskammer erzeugt werden, gegebenenfalls auch jeweils eine Temperaturverteilung für jede
20 der Referenzscheiben. In diesem Fall werden die Temperaturverteilungen zweckmäßigerweise in Abhängigkeit der Längsposition der entsprechenden Referenzscheibe in der Prozesskammer vorgegeben. Folglich ist vorzugsweise jede der Temperaturverteilungen charakteristisch für eine der Längspositionen.

30

Bei einer solchen Temperaturverteilung ändert sich die Temperatur zweckmäßigerweise entlang der Längsachse. Eine solche Temperaturverteilung kann beispielsweise durch entsprechendes

Beheizen der Prozesskammer, etwa eine selektive Bestromung von Heizelementen, erzeugt werden.

Für jede der Referenzscheiben kann dann, insbesondere bei Erzeugung der ihrer Längsposition zugeordneten Temperaturverteilung, eine mit ihrer Längsposition in der Prozesskammer assoziierte Referenzausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung ermittelt werden. Dabei ist jede Referenzausrichtung bevorzugt dadurch festgelegt, dass die in dieser Ausrichtung ermittelte Temperatur (bei entsprechender Temperaturverteilung in der Prozesskammer) ein vorgegebenes Temperaturkriterium erfüllt.

Wird pro Referenzscheibe jeweils eine Temperaturverteilung erzeugt, ist es bevorzugt, dass für jede der vorgegebenen Temperaturverteilungen jeweils eine der Referenzscheiben im Bereich eines Temperaturmaximums innerhalb der Prozesskammer angeordnet wird. Anders gesagt weist jede der erzeugten Temperaturverteilungen ein Temperaturmaximum an einer der Längspositionen in der Prozesskammer auf, an der auch eine der Referenzscheiben angeordnet ist. Dazu wird die Prozesskammer zweckmäßigerweise für jede der Referenzscheiben derart beheizt, dass sich das Temperaturmaximum im Bereich der jeweiligen Referenzscheibe ausbildet. Folglich ist es zweckmäßig, dass das Temperaturkriterium durch das Erreichen eines Temperaturmaximums erfüllt wird.

Andernfalls, wenn nur eine Temperaturverteilung erzeugt wird, wird das Temperaturkriterium zweckmäßigerweise nur für eine der Referenzscheiben durch Erreichen eines Temperaturmaximums erfüllt. Für die anderen Referenzscheiben können andere Temperaturkriterien gelten, zum Beispiel das Erreichen eines vorgegebenen Bruchteils des Temperaturmaximums.

Mithilfe der derart identifizierten Referenzausrichtungen ist es möglich, die Temperaturhomogenität in der Prozesskammer zu prüfen. Dazu wird die Prozesskammer zweckmäßigerweise möglichst homogen beheizt und die sich einstellenden Temperaturen der Referenzscheiben in den Referenzbereichen ermittelt. Über die Zuordnung der so ermittelten Temperaturen zur Position der Referenzscheiben in der Prozesskammer ergibt sich eine Temperaturverteilung entlang der Längsachse.

10 Unter Umständen kann zur Ermittlung einer solchen Temperaturverteilung auch auf eine Ermittlung von Referenzausrichtungen verzichtet werden. Dafür ist es zweckmäßig, die mehreren Referenzscheiben des Positionsreferenzmittels entlang der Längsachse in einer vorgegebenen Orientierung relativ zueinander
15 anzuordnen. Durch die vorgegebene Orientierung ist die Lage der Referenzbereiche in einem mittels der Messvorrichtung aufgenommenen „Temperaturbild“ bekannt. Ein derartiges Bild kann durch eine raumwinkelaufgelöste Ermittlung der Temperatur in der Prozesskammer mittels der Messvorrichtung erhalten werden,
20 nachdem das Positionsreferenzmittel durch Beheizung der Prozesskammer erhitzt wurde.

Bei der raumwinkelaufgelösten Temperaturermittlung werden zweckmäßigerweise mehrere Temperaturmesswerte in verschiedenen
25 Raumwinkeln erhalten. Dazu kann beispielsweise die Messvorrichtung bzw. ihr Erfassungsbereich mittels der Manipulationsvorrichtung auf die verschiedenen Raumwinkel ausgerichtet werden. Insbesondere kann so zumindest ein Teil des möglichen Sichtfeldes der Messvorrichtung „abgerastert“ werden. Die mit-
30 tels der raumwinkelaufgelösten Temperaturermittlung erhaltenen Temperaturmesswerte bilden also eine zweidimensionale Temperaturverteilung aus Sicht der Messvorrichtung.

Alternativ ist es natürlich auch möglich, die raumwinkelaufgelöste Temperaturermittlung (d.h. die Aufnahme eines „Temperaturbilds“) mittels eines Sensorarrays einer entsprechend ausgebildeten Messvorrichtung, etwa einer (Infrarot-) Kamera,
5 durchzuführen.

Die Temperaturmesswerte aus der raumwinkelaufgelösten Temperaturermittlung können dann direkt den Referenzbereichen der Referenzscheiben zugeordnet werden, da deren Lage im „Bild“
10 durch die vorgegebene Orientierung der Referenzscheiben relativ zueinander ja bekannt ist. Über die Position der Referenzscheiben entlang der Längsachse lässt sich folglich die Temperaturverteilung entlang der Längsachse ableiten.

15 Um alternativ oder zusätzlich zur optimalen Ausrichtung auch eine Kalibrierung der Messvorrichtung vornehmen zu können, wird vorzugsweise ein Temperaturreferenzmittel innerhalb der Prozesskammer, insbesondere mittels eines Bootes, angeordnet. Zweckmäßigerweise wird das Temperaturreferenzmittel dann durch
20 Beheizung der Prozesskammer erhitzt und dabei ein Verlauf der Temperatur des Temperaturreferenzmittels, insbesondere einer Schmelzprobe des Temperaturreferenzmittels, mittels der Messvorrichtung erfasst. Einer Temperatur aus dem Temperaturverlauf kann dann eine Schmelztemperatur des Temperaturreferenzmittels, insbesondere der Schmelzprobe, zugeordnet werden.
25

Beispielsweise lässt sich ein Temperaturplateau im Temperaturverlauf ermitteln, welches durch die Schmelzenthalpie des Temperaturreferenzmittels, insbesondere der Schmelzprobe, bedingt
30 ist und das Erreichen der Schmelztemperatur kennzeichnet. Folglich kann dem Temperaturplateau die Schmelztemperatur zugeordnet werden.

Alternativ kann die Kalibration der Messvorrichtung auch mittels eines konventionellen Temperatursensors, etwa eines Thermoelements, erfolgen. Dazu wird wenigstens ein außerhalb der Prozesskammer angeordnetes, d. h. externes, Temperaturmessmittel kalibriert, indem eine Temperatur innerhalb der Prozesskammer mittels des zumindest abschnittsweise in die Prozesskammer eingeführten Temperatursensors ermittelt und Messdaten zugeordnet wird, die beim gleichzeitigen Messen einer Außentemperatur der Prozesskammer mittels des wenigstens einen Temperaturmessmittels erzeugt werden. Anschließend wird der Temperatursensor zweckmäßigerweise aus der Prozesskammer entfernt und die Messvorrichtung vor der Prozesskammeröffnung angeordnet. Die Messvorrichtung kann nun kalibriert werden, indem gleichzeitig mit dem berührungslosen Messen der Temperatur in der Prozesskammer mittels der Messvorrichtung die Außentemperatur der Prozesskammer mittels dem wenigstens einen, nun kalibrierten, Temperaturmessmittel ermittelt wird. Die derartige Kalibration der Messvorrichtung hat den Vorteil, dass bereits etablierte, temperatursensitive Prozessierungsverfahren in bestehenden Hochtemperaturöfen dann auch direkt durch die Messvorrichtung abgebildet werden können.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn vor der Kalibration der Messvorrichtung eine Ausrichtung des Erfassungsbereichs der Messvorrichtung mittels des Positionsreferenzmittels vorgenommen wird. Insbesondere kann die Kalibration der Messvorrichtung dann auch erfolgen, indem mittels der Messvorrichtung die Temperatur einer oder mehrerer, dann an verschiedenen Längspositionen innerhalb der Prozesskammer angeordneter Referenzscheiben gemessen und gleichzeitig die Außentemperatur der Prozesskammer an den entsprechenden Längspositionen mittels des wenigstens einen Temperaturmessmittels ermittelt wird.

Das voranstehend beschriebene Messverfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung lässt sich insbesondere zur Kalibration wenigstens eines externen Temperaturmessmittels eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, verwenden.

Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft daher ein Kalibrationsverfahren für wenigstens ein Temperaturmessmittel eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, mit den folgenden Schritten: i) berührungsloses Ermitteln einer Temperatur innerhalb einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens für die Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, durch eine verschließbare, insbesondere verschlossene, Öffnung der Prozesskammer mittels einer vor der Öffnung angeordneten Messvorrichtung; und ii) Kalibrieren wenigstens eines außerhalb der Prozesskammer angeordneten Temperaturmessmittels, welches zum Ermitteln einer Außentemperatur der Prozesskammer, insbesondere der Oberflächentemperatur der Prozesskammer in einem Bereich auf ihrer Außenfläche, eingerichtet ist, auf Grundlage der berührungslos ermittelten Temperatur.

Beispielsweise können in einem Schritt Messdaten des wenigstens einen außerhalb der Prozesskammer angeordneten Temperaturmessmittels empfangen werden. Diese Messdaten charakterisieren zweckmäßigerweise eine, vorzugsweise aber nicht zwingend berührungslos, gemessene Außentemperatur der Prozesskammer. In einem darauffolgenden Schritt kann die berührungslos ermittelte Temperatur innerhalb der Prozesskammer diesen externen Messdaten zugeordnet werden.

Damit kann die Temperatur in der Prozesskammer präzise aus den Messdaten, d. h. aus der mittels dem wenigstens einen Temperaturmessmittel ermittelten Außentemperatur der Prozesskammer,

abgeleitet werden. Auch bei Temperaturen von über 1700 °C ist dieses Vorgehen noch zuverlässig anwendbar, da die Messvorrichtung – anders als konventionell eingesetzte Thermoelemente – in diesem Temperaturbereich keine relevanten Temperaturbeschränkungen aufweist.

Im Weiteren wird die Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Soweit zweckdienlich, sind hierin gleich wirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen. Die Erfindung ist nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt – auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Die bisherige Beschreibung wie auch die nachfolgende Figurenbeschreibung enthalten zahlreiche Merkmale, die in den abhängigen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale wie auch alle übrigen oben und in der nachfolgenden Figurenbeschreibung offenbarten Merkmale wird der Fachmann jedoch auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfügen. Insbesondere sind alle genannten Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem System gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, dem Verfahren gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung und dem Kalibrationsverfahren gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung kombinierbar.

Es zeigen, zumindest teilweise schematisch:

Figur 1 ein Beispiel eines Systems zur Temperaturermittlung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung;

Figur 2 ein Beispiel eines Temperaturreferenzmittels;

Figur 3A ein Beispiel eines ermittelten Verlaufs der Temperatur einer Schmelzprobe;

Figur 3B ein Beispiel eines umgekehrten Verlaufs der Temperatur einer Schmelzprobe;

5 Figur 4 ein Beispiel eines Rasters aus Temperaturen, die mittels einer Messvorrichtung ermittelt wurden;

Figur 5 ein Beispiel eines Positionsreferenzmittels;

10 Figur 6 ein Beispiel von mehreren in einer Prozesskammer angeordneten Referenzscheiben; und

Figur 7 ein Beispiel eines Verfahrens zur Temperaturermittlung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung.
15

Figur 1 zeigt ein Beispiel eines Systems 1 zur Temperaturermittlung in einer Prozesskammer 2 eines – vorliegend als Vertikalofen ausgebildeten – Hochtemperaturofens 50 zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung. Dazu ist eine vor einer verschließbaren Öffnung 3 der Prozesskammer 2 angeordnete Messvorrichtung 4 vorgesehen, die mittels einer als Positioniervorrichtung 6 ausgebildeten Manipulationsvorrichtung 5 relativ zur Prozesskammer 2 bewegbar und zum
20 berührungslosen Ermitteln einer Temperatur in der Prozesskammer 2 durch die Öffnung 3 hindurch eingerichtet ist. Die Öffnung 3 ist mittels eines Verschlusses 15 verschlossen, in den ein Fenster, etwa aus Saphir oder Quarz gefertigt, eingelassen ist. Der Verschluss 15 bildet einen Boden der bezüglich ihrer
25 Längsachse L vertikal ausgerichteten Prozesskammer 2. Die Positioniervorrichtung 6 ist durch eine Steuervorrichtung 20 ansteuerbar. Die Prozesskammer 2 ist mittels einer Heizvorrichtung, zum Beispiel mehreren Heizelementen 7, beheizbar. Eine
30

dadurch erzeugte Außentemperatur der Prozesskammer 2 ist mittels (externen) Temperaturmessmitteln 8 ermittelbar.

Das System 1 weist im vorliegenden Beispiel ein in der Prozesskammer 2, insbesondere in einem gepunktet dargestellten Prozessvolumen 9, anordenbares Temperaturreferenzmittel 10 auf, mit dem die Messvorrichtung 4 – wie im Zusammenhang mit den Figuren 2 und 3 weiter unten ausführlicher beschrieben – kalibrierbar ist. Das Prozessvolumen 9 wird boden- bzw. verschlussesseitig durch ein Isolationsmittel 11, hier beispielhaft aufweisend ein sogenanntes „Baffle“ 12 und mehreren flach übereinander gestapelten Graphitscheiben 13, begrenzt. Um über die Öffnung 3, insbesondere das Fenster im Verschluss 15, einen Zugang zum Prozessvolumen 9 zu ermöglichen, sind die Graphitscheiben 13 in der Mitte gelocht. Zudem weist das Baffle 12 einen Bafflekanal auf, der mit den Löchern der Graphitscheiben 13 bei Anordnung in der Prozesskammer 2 fluchtet. Der Bafflekanal und die Löcher bilden somit einen Kanal 14 im Isolationsmittel 11, durch den hindurch mittels der Messvorrichtung 4 eine Temperatur im Prozessvolumen 9, beispielsweise die Temperatur des Temperaturreferenzmittels 10, ermittelt werden kann. Der Kanal 14 verläuft dabei zweckmäßigerweise entlang, insbesondere konzentrisch mit, der Längsachse L der Prozesskammer 2. Der Kanal 14 ist boden- bzw. verschlussesseitig durch das Fenster begrenzt und mündet am anderen Ende in das Prozessvolumen 9.

Die Messvorrichtung 4 kann als Pyrometer oder anderes Strahlungsmessgerät, gegebenenfalls auch als (Infrarot-) Kamera ausgebildet sein. Sie weist zweckmäßigerweise wenigstens einen Sensor oder Sensorarray auf, mit dem elektromagnetische Strahlung, beispielsweise im Infrarotbereich, erfassbar ist. Diese von einem erhitzten Objekt ausgehende Strahlung ist charakteristisch für dessen Temperatur.

Damit die Messvorrichtung 4 eine Temperatur des Temperaturreferenzmittels 10 zuverlässig erfassen kann, ist es wünschenswert, dass ein Erfassungsbereich 16 der Messvorrichtung 4 auf das Temperaturreferenzmittel 10 ausgerichtet ist. Insbesondere kann eine solche Ausrichtung des Erfassungsbereichs 16 verhindern, dass die ermittelte Temperatur durch einen Einfluss einer Wandung 17 des Kanals 14 im Isolationsmittel 11 verfälscht wird. Beispielsweise kann durch eine solche Ausrichtung verhindert werden, dass von der Wandung 17 des Kanals 14 emittierte elektromagnetische Strahlung von der Messvorrichtung 4 erfasst wird.

Eine derartige Ausrichtung des Erfassungsbereichs 16 kann mittels der Positioniervorrichtung 6 vorgenommen werden. Beispielsweise kann eine entsprechende (translatorische) Positionierung und/oder eine entsprechende (rotatorische) Ausrichtung der Messvorrichtung 4 vorgenommen werden. Dies wird im Zusammenhang mit Figur 4 weiter unten ausführlicher erläutert.

20

Wie die Messvorrichtung 4 sind vorzugsweise auch die Temperaturmessmittel 8 zum berührungslosen, zum Beispiel strahlungsbasierten, Ermitteln der Außentemperatur, insbesondere einer Oberflächentemperatur auf der Außenseite der Prozesskammer 2, eingerichtet. Die Temperaturmessmittel 8 können beispielsweise, wie durch die gestrichelten Linien angedeutet, zwischen den Heizelementen 7 hindurch propagierende, von der Außenfläche der Prozesskammer 2 emittierte elektromagnetische Strahlung erfassen. Ist eine in Figur 1 nicht dargestellte Isolationschicht um die Prozesskammer 2 herum vorgesehen, weist diese zweckmäßigerweise Öffnungen auf, um die Strahlung passieren zu lassen. Grundsätzlich sind aber auch andere Ausbil-

30

dungen der Temperaturmessmittel 8 denkbar. Beispielsweise können die Temperaturmessmittel 8 alternativ als Thermoelemente ausgebildet sein.

- 5 **Figur 2** zeigt ein Beispiel eines Temperaturreferenzmittels 10. Das Temperaturreferenzmittel 10 weist einen Träger 18 und eine darauf angeordneten Schmelzprobe 19 auf. Der Träger 18 ist zur Anordnung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens, zum Beispiel mittels eines sogenannten „Boots“, eingerichtet.
- 10 Zu diesem Zweck kann der Träger 18 scheibenartig ausgebildet sein, insbesondere eine typische Waferform aufweisen.

- Die Schmelzprobe 19 ist zweckmäßigerweise aus einem Material gefertigt, dass eine niedrigere Schmelztemperatur als das Trägermaterial aufweist. Dadurch kann, zum Beispiel durch Beheizen der Prozesskammer, die Schmelzprobe 19 gezielt zum Schmelzen gebracht werden, wie in Figur 3 gezeigt ist.
- 15

- Figur 3A** zeigt ein Beispiel eines Verlaufs 21 einer Temperatur T einer Schmelzprobe, die sich in einer Umgebung befindet, in der die Temperatur bis auf eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur T_s der Schmelzprobe erhöht wird. Im Verlauf der Zeit t , zum Beispiel innerhalb von einigen 100 ms nach Erhöhung der Umgebungstemperatur auf einen Wert oberhalb der Schmelztemperatur T_s , steigt die Temperatur T der Schmelzprobe bis auf die Schmelztemperatur T_s . Dort verharret die Temperatur T der Schmelzprobe, bis die Schmelzprobe geschmolzen ist. Anders gesagt bildet der Verlauf 21, nämlich aufgrund der Schmelzenthalpie der Schmelzprobe, bei der Schmelztemperatur T_s ein Temperaturplateau 22 aus. Erst nach dem Schmelzen steigt die Temperatur T der (nun flüssigen) Schmelzprobe weiter an.
- 20
- 25
- 30

Figur 3B zeigt den umgekehrten Verlauf, nämlich zeigt ein Beispiel eines Verlaufs 21 einer Temperatur T einer Schmelzprobe,

die sich in einer Umgebung befindet, in der die Temperatur von einer Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur T_s der Schmelzprobe auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur T_s gesenkt wird. Hierbei bildet sich das Temperaturplateau 22
5 aus, bis die Schmelzprobe vollständig erstarrt ist.

Die in Figur 1 gezeigte Messvorrichtung 4 lässt sich damit durch das Ermitteln eines solchen Temperaturverlaufs 21, unmittelbar nachdem die Innentemperatur der Prozesskammer 2 auf
10 eine Temperatur oberhalb einer Schmelztemperatur T_s des Temperaturreferenzmittels 10 erhöht oder auf eine Temperatur unterhalb der Schmelztemperatur T_s gesenkt wurde, kalibrieren. Zu diesem Zweck ist die Steuervorrichtung 20 vorzugsweise dazu eingerichtet, ein Temperaturplateau 22 in den beim Aufzeichnen
15 des Temperaturverlaufs 21 erzeugten Messdaten der Messvorrichtung 4 zu identifizieren. Der mit der entsprechenden Plateau-temperatur korrespondierenden Messdaten kann die Steuervorrichtung 20 dann die vorbekannte Schmelztemperatur T_s des Temperaturreferenzmittels 10, insbesondere der Schmelzprobe, zu-
20 zuordnen.

Mittels der derart kalibrierten Messvorrichtung 4 lassen sich die in Figur 1 gezeigten Temperaturmessmittel 8 besonders präzise kalibrieren. Zu diesem Zweck ist die Steuervorrichtung 20
25 vorzugsweise dazu eingerichtet, eine Temperatur in der beheizten Prozesskammer 2 mit der – zweckmäßigerweise kalibrierten – Messvorrichtung 4 zu erfassen und Messdaten der Temperaturmessmittel 8, die eigentlich eine Außentemperatur der Prozesskammer 2 charakterisieren, zuzuordnen. Im Regelbetrieb des
30 Hochtemperaturofens 50 lässt sich dann die Innentemperatur der Prozesskammer 2 aus den Messdaten der Temperaturmessmittel 8 zuverlässig ableiten.

Figur 4 zeigt ein Beispiel eines Rasters 23 aus (als Schraffur oder weiße Fläche angedeuteten) Temperaturen T , die berührungslos mittels einer Messvorrichtung durch eine Öffnung einer Prozesskammer hindurch ermittelt werden. Das Raster 23 kommt zustande, indem die Messvorrichtung in zwei Freiheitsgraden x , y bewegt (zum Beispiel translatiert und/oder geschwenkt) wird. Durch die Bewegung der Messvorrichtung ändert sich auch die Lage eines (als Kreis angedeuteten) Erfassungsbereichs 16 der Messvorrichtung, der einer ermittelten Temperatur T zugeordnet ist. Das Raster 23 zeigt folglich den räumlichen Temperaturverlauf aus Sicht der Messvorrichtung.

Die schraffiert angedeuteten Temperaturen T sind im gezeigten Beispiel gegenüber den als weiße Fläche angedeuteten Temperaturen T geringer. Bei Änderung der Ausrichtung des Erfassungsbereichs 16 der Erfassungsvorrichtung der Messvorrichtung 4 aus Figur 1 können diese niedrigeren Temperaturen T zum Beispiel der Temperatur der Wandung 17 des Kanals 14 im Isolationsmittel 11 zugeordnet werden. Die höheren Temperaturen T im Zentrum des dargestellten Rasters 23 können dagegen dem sich im Prozessvolumen 9 angeordneten Temperaturreferenzmittel 10 zugeordnet werden.

Durch Ändern der Anordnung der Messvorrichtung 4 relativ zur Prozesskammer 2 bezüglich wenigstens zwei Freiheitsgraden (x , y), zum Beispiel zwei Translationfreiheitsgraden (Bewegung in einer Ebene parallel zur Öffnung 3) und zwei Rotationsfreiheitsgraden (Verkipfung relativ zur Längsachse L), kann so eine Ausrichtung des Erfassungsbereichs 16 identifiziert werden, in der die Temperatur T in der Prozesskammer 2 bzw. eines darin angeordneten Meßobjekts, etwa des Temperaturreferenzmittels 10, zuverlässig und ohne Einflüsse durch die Wandung 17 des Kanals 14 ermittelbar ist.

Alternativ oder zusätzlich zum in Figur 1 gezeigten Temperaturreferenzmittel 10 kann diese „optimale“ Ausrichtung des Erfassungsbereichs 16 grundsätzlich auch mittels eines anderen Meßobjekts, etwa eines dedizierten Positionsreferenzmittels, gefunden werden.

Zudem ist es ebenfalls denkbar, dass anstelle eines „Abrasterns“ des durch die Öffnung 3 zugänglichen Volumens in der Prozesskammer 2 durch Bewegen der Messvorrichtung 4 ein „Bild“ mittels eines Sensorarrays einer entsprechend ausgebildeten Messvorrichtung 4, etwa einer (Infrarot-) Kamera aufgenommen wird.

Figur 5 zeigt ein Positionsreferenzmittel 24, dass als Lochscheibe 25 ausgebildet ist. Das Positionsreferenzmittel 24 weist einen Vorsprung 26 auf, der einen gestrichelt eingezeichneten Referenzbereich 27 definiert. Der Vorsprung 26 ragt in das Loch 28 hinein, insbesondere zu dessen Mitte hin. Folglich ist der Referenzbereich 27 in einem Bereich am Rand 29 des Lochs 28 angeordnet.

Damit kann bei Anordnung des Positionsreferenzmittels 24 in der Prozesskammer 2 aus Figur 1, insbesondere anstelle des dort gezeigten Temperaturreferenzmittels 10, eine Ausrichtung des Erfassungsbereichs 16 der Messvorrichtung 4 auf den Referenzbereich 27 durch das im Zusammenhang mit Figur 4 beschriebenen Vorgehen gefunden werden.

Darüber hinaus erlaubt es die gezeigte Ausbildung des Positionsreferenzmittels 24 als Lochscheibe 25 zusätzlich auch, durch entsprechende Ausrichtung des Erfassungsbereichs 16 auch die Temperatur eines in der Prozesskammer 2 hinter dem Positionsreferenzmittel 24 angeordneten Objekts zu ermitteln. Dies kann ausgenutzt werden, um die Temperaturhomogenität in der

Prozesskammer 2 zu untersuchen, wie im Zusammenhang mit Figur 6 näher erläutert ist.

Figur 6 zeigt ein Beispiel von mehreren, rein beispielhaft
5 drei, Referenzscheiben 30 eines Positionsreferenzmittels 24.
Die Referenzscheiben 30 sind, zum Beispiel mittels eines nur
ansatzweise gezeigten Boots 31, in einer Prozesskammer 2 eines
Hochtemperaturofens an unterschiedlichen Längspositionen P1,
P2 und P3 in Bezug auf eine Längsachse L der Prozesskammer 2
10 angeordnet.

Jede der Referenzscheiben 30 ist als Lochscheibe ausgebildet,
die einen zur Lochmitte hin aufweisenden Vorsprung 26 auf-
weist. Die Löcher 28 der Lochscheiben weisen, bis auf den hin-
15 einragenden Vorsprung 26, eine im Wesentlichen kreisrunde Form
auf. In der Anordnung innerhalb der Prozesskammer 2 fluchten
die Löcher 28 entlang der Längsachse L.

Die Referenzscheiben 30 sind entlang der Längsachse L derart
20 hintereinander angeordnet, insbesondere relativ zueinander
orientiert, dass die Temperatur einer jeden Referenz-
scheibe 30 mittels einer Messvorrichtung durch eine Öffnung
im Prozesskammerboden (vergleiche Figur 1) ermittelbar ist.
Insbesondere sind die Referenzscheiben 30 derart angeordnet,
25 insbesondere relativ zueinander orientiert, dass von den Vor-
sprüngen 26 emittierte elektromagnetische Strahlung im Wesent-
lichen entlang der Längsachse L durch die Öffnung bis zur
Messvorrichtung propagieren kann. Die Referenzscheiben 30 sind
zweckmäßigerweise also derart angeordnet, insbesondere relativ
30 zueinander orientiert, dass entlang der Längsachse L gesehen
keiner der Vorsprünge 26 durch einen anderen Vorsprung 26 ver-
deckt ist bzw. selbst einen dahinterliegenden Vorsprung 26
verdeckt.

Beispielsweise können die Vorsprünge 26, wie bereits in Figur 5 erkennbar, die Form eines Kreissektors haben. Alle Vorsprünge 26 zusammen decken dabei zweckmäßigerweise 360° ab. Grundsätzlich sind jedoch auch andere Formen der Vorsprünge 26 denkbar, zum Beispiel Kreissegmente.

Dadurch, dass bei entsprechender Ausrichtung eines Erfassungsbereichs der Messvorrichtung auf den jeweiligen Vorsprung 26 bzw. den dadurch definierten Referenzbereich (vergleiche Figur 5) gezielt die Temperatur einer der an den unterschiedlichen Längspositionen P1, P2 und P3 angeordneten Referenzscheiben 30 ermittelbar ist, kann auch eine Temperaturverteilung in der Prozesskammer 2 entlang der Längsachse L ermittelt werden.

Um die Temperaturen gezielt an den Längspositionen P1, P2 und P3 ermitteln zu können, ist es zweckdienlich, im Vorfeld mit der Lage der Vorsprünge 26 korrespondierende Referenzausrichtungen für den Erfassungsbereich zu ermitteln. Durch „Anfahren“ einer solchen Referenzausrichtung, d. h. Ausrichten des Erfassungsbereichs in eine solche Referenzausrichtung, kann dann die Temperatur der zugehörigen Referenzscheibe 30 ermittelt werden.

Die Referenzausrichtungen lassen sich ermitteln, indem zum Beispiel mittels gezielter Ansteuerung der in Figur 1 gezeigten Heizelemente 7 durch die Steuervorrichtung 20 verschiedene Temperaturverteilungen in der Prozesskammer 2 erzeugt werden. Dabei befindet sich in jeder so erzeugten Temperaturverteilung zweckmäßigerweise ein Temperaturmaximum im Bereich einer der Referenzscheiben 30. Bei den in Figur 6 gezeigten drei Referenzscheiben 30 kann beispielsweise eine Temperaturverteilung mit einem Maximum an der Längsposition P1, etwa in einem unteren Ende der Prozesskammer 2 oder zumindest des in Figur 1 gezeigten Prozessvolumens 9, eine Temperaturverteilung mit einem

Maximum an der Position P2, etwa in der Mitte der Prozesskammer 2 oder zumindest in der Mitte des Prozessvolumens 9, und eine Temperaturverteilung mit einem Maximum an der Längsposition P3, etwa an einem oberen Ende der Prozesskammer 2, erzeugt werden. Dadurch wird zweckmäßigerweise einer der Vorsprünge 26 stärker erhitzt als die übrigen Vorsprünge 26.

Für jede dieser erzeugten Temperaturverteilungen kann dann, mit dem im Zusammenhang mit Figur 4 weiter oben bereits erläuterten Vorgehen, die Lage des am stärksten erhitzten Vorsprungs 26 ermittelt werden. Entsprechend kann diejenige Ausrichtung des Erfassungsbereichs als Referenzausrichtung für den entsprechenden Vorsprung 26 identifiziert werden, bei welcher die ermittelte Temperatur ein vorbestimmtes Temperaturkriterium erfüllt, zum Beispiel ein Temperaturmaximum erreicht.

Ist die Ausrichtung der Referenzscheiben 30, insbesondere der Vorsprünge 26, in der Prozesskammer 2 vorgegeben oder bereits bekannt, kann eine Temperaturverteilung entlang der Längsachse L gegebenenfalls auch ohne explizite Identifikation der Referenzausrichtungen ermittelt und das Verfahren damit abgekürzt werden. Dazu wird die Temperatur in der Prozesskammer zweckmäßigerweise raumwinkelaufgelöst, z. B. wie im Zusammenhang mit Figur 4 rasterartig, ermittelt. In dem sich ergebenden Bild, d. h. der zweidimensionalen Temperaturverteilung (vgl. Raster aus Figur 4) können die ermittelten Temperaturen dann, auf Grundlage ihrer Lage im Bild, den vorgegebenen bzw. bekannten Vorsprüngen 26 zugeordnet werden.

30

Unter Umständen lässt sich durch die Verwendung eines Positionsreferenzmittels 24 mit mehreren Referenzscheiben 30 auch eine besonders präzise Kalibration der in Figur 1 gezeigten Temperaturmessmittel 8 erreichen. Dazu sind oder werden die

Referenzscheiben 30 zweckmäßigerweise innerhalb der Prozesskammer 2 auf gleicher Höhe mit jeweils einem Temperaturmessmittel 8 angeordnet. Durch Erzeugen entsprechender Temperaturverteilungen mit einem Temperaturmaximum an der Längsposition P1, P2, P3 jeweils einer der Referenzscheiben 30 kann dann eine mittels der Messvorrichtung 4 ermittelte Maximaltemperatur – welche der Temperatur der Referenzscheibe 30, die dem Temperaturmaximum am nächsten ist, entspricht – Messwerten des damit korrespondierenden, d. h. auf gleicher Höhe liegenden, Temperaturmessmittels 8 zugeordnet werden. Folglich kann jedes Temperaturmessmittel 8 separat kalibriert werden, wobei sich insbesondere Temperaturinhomogenitäten in der Prozesskammer 2 berücksichtigen lassen.

Es ist allerdings auch hierbei denkbar, das Verfahren abzukürzen und eine vorgegebene bzw. bekannte Ausrichtung der Referenzscheiben 30 auszunutzen, um die Kalibrierung der Temperaturmessmittel 8 in nur einem „Messdurchgang“, d. h. nur mit einer einzigen Temperaturverteilung in der Prozesskammer 2, durchführen zu können. Die beim raumwinkelaufgelösten Ermitteln der Temperatur in der Prozesskammer 2 erhaltenen Temperaturmesswerte werden dabei zweckmäßigerweise auf Grundlage ihrer Lage im zweidimensionalen Raster (vgl. Figur 4) der entsprechenden Referenzscheibe 30 und dem damit korrespondierenden Temperaturmessmittel 8 zugeordnet.

Gegebenenfalls können außer den in Figur 6 gezeigten drei Referenzscheiben 30 noch weitere Lochscheiben ohne Vorsprung 26 in der Prozesskammer 2 angeordnet werden, um die thermische Last zu vergrößern. Die Temperatur dieser weiteren Lochscheiben wird zweckmäßigerweise nicht von der Messvorrichtung erfasst.

Figur 7 zeigt ein Beispiel eines Verfahrens 100 zur Temperaturermittlung in einer Prozesskammer eines Hochtemperaturofens zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung.

5

In einem Verfahrensschritt S1 wird ein Temperaturreferenzmittel über eine Öffnung in einer Prozesskammer, beispielsweise mithilfe eines Boots, angeordnet. Die Prozesskammer wird dann zweckmäßigerweise mit einem Prozesskammerverschluss, in den
10 ein Fenster eingelassen ist, verschlossen.

In einem weiteren Verfahrensschritt S2 wird außerhalb der Prozesskammer eine Messvorrichtung zur berührungslosen Ermittlung einer Temperatur vor der (verschlossenen) Öffnung, insbesondere
15 vor dem Fenster, angeordnet. Zweckmäßigerweise wird die Messvorrichtung dabei derart angeordnet, dass mittels der Messvorrichtung eine Temperatur innerhalb der Prozesskammer, insbesondere des Temperaturreferenzmittels, berührungslos ermittelbar ist. Zusätzlich kann in Verfahrensschritt S2 die
20 Prozesskammer beheizt werden. Vorzugsweise wird die Temperatur in der Prozesskammer dabei auf eine Temperatur, die geringer ist als eine Schmelztemperatur einer Schmelzprobe des Temperaturreferenzmittels, erhöht.

25 In einem weiteren Verfahrensschritt S3 wird die Temperatur innerhalb der Prozesskammer, insbesondere des Temperaturreferenzmittels, mittels der Messvorrichtung durch die Öffnung der Prozesskammer ermittelt.

30 Bevorzugt wird in einem weiteren Verfahrensschritt S4 geprüft, ob ein Abbruchkriterium erfüllt ist. Falls nicht, wird in Verfahrensschritt S5 die Ausrichtung eines Erfassungsbereichs der Messvorrichtung mittels einer Manipulationsvorrichtung verändert. Beispielsweise kann die Anordnung der Messvorrichtung

relativ zur Prozesskammer mittels einer Positioniervorrichtung geändert werden, etwa indem die Messvorrichtung in einer Ebene parallel zur Öffnung translatorischen bewegt und/oder relativ zu einer Längsachse der Prozesskammer verkippt wird. Anschließend wird wieder Verfahrensschritt S3 ausgeführt, d. h. erneut eine Temperatur ermittelt.

Ist das Abbruchkriterium dagegen erfüllt, wird mit Verfahrensschritt S6 fortgefahren. Das Abbruchkriterium kann beispielsweise erfüllt sein, wenn auf Grundlage einer Vielzahl ermittelter Temperaturen eine Ausrichtung des Erfassungsbereichs bzw. eine Anordnung der Messvorrichtung relativ zur Prozesskammer ermittelt wurde oder werden kann, in der ein vorgegebenes Temperaturkriterium erfüllt ist. Das Temperaturkriterium ist zweckmäßigerweise erfüllt, wenn ein Temperaturmaximum ermittelt ist oder zumindest ein Bereich, in dem die Temperatur höher ist als in einem angrenzenden Bereich, identifiziert ist.

Die Ausrichtung des Erfassungsbereichs bzw. die korrespondierende Anordnung der Messvorrichtung relativ zur Prozesskammer kann als Referenzausrichtung gespeichert werden.

In Verfahrensschritt S6 wird die Temperatur in der Prozesskammer vorzugsweise auf eine Temperatur oberhalb eines Schmelzpunktes der Schmelzprobe erhöht. Gleichzeitig oder zumindest unmittelbar danach wird mittels der Messvorrichtung ein Verlauf der Schmelzprobentemperatur ermittelt. In einem weiteren Verfahrensschritt S7 kann dann aus der Temperaturverteilung eine Plateautemperatur ermittelt werden, der die Schmelztemperatur der Schmelzprobe zugeordnet wird.

Mit der derart kalibrierten Messvorrichtung kann ein Kalibrationsverfahren 200 für wenigstens ein außerhalb der Prozesskammer angeordnetes Temperaturmessmittel zur Messung einer Außentemperatur der Prozesskammer durchgeführt werden. Dazu wird
5 zweckmäßigerweise zunächst die Schmelzprobe aus der Prozesskammer entfernt und gegen ein anderes Messobjekt, zum Beispiel ein Positionsreferenzmittel, ausgetauscht. Darauffolgend kann die Prozesskammer erneut beheizt und mittels der kalibrierten Messvorrichtung eine Temperatur in der Prozesskammer ermittelt
10 werden. Vorzugsweise wird gleichzeitig eine Außentemperatur, beispielsweise eine Oberflächentemperatur, der Prozesskammer mittels des externen Temperaturmessmittels erfasst. Zur Kalibration wird die mittels der kalibrierten Messvorrichtung ermittelte Temperatur den zeitgleich erhaltenen Messdaten des
15 Temperaturmessmittels zugeordnet.

Gegebenenfalls können zur Kalibration mehrerer externer, an unterschiedlichen Positionen längs der Prozesskammer angeordnete Temperaturmessmittel nach dem Austausch des Temperaturreferenzmittels gegen das Positionsreferenzmittel die Verfahrensschritte S3 bis S5 erneut durchgeführt werden. Dadurch lassen sich gegebenenfalls mehrere Referenzausrichtungen für den Erfassungsbereich bzw. die Messvorrichtung ermitteln, die mit den unterschiedlichen Längspositionen korrespondieren.
20
25 Dadurch ist es nicht nur möglich, die Temperaturhomogenität in der Prozesskammer zu prüfen, sondern gegebenenfalls die mehreren Temperaturmessmittel einzeln zu kalibrieren.

Bezugszeichenliste

	1	System
	2	Prozesskammer
5	3	Öffnung
	4	Messvorrichtung
	5	Manipulationsvorrichtung
	6	Positioniervorrichtung
	7	Heizelement
10	8	Temperaturmessmittel
	9	Prozessvolumen
	10	Temperaturreferenzmittel
	11	Isolationsmittel
	12	Baffle
15	13	Graphitscheibe
	14	Kanal
	15	Verschluss
	16	Erfassungsbereich
	17	Wandung
20	18	Träger
	19	Schmelzprobe
	20	Steuervorrichtung
	21	Temperaturverlauf
	22	Temperaturplateau
25	23	Raster
	24	Positionsreferenzmittel
	25	Lochscheibe
	26	Vorsprung
	27	Referenzbereich
30	28	Loch
	29	Rand
	30	Referenzscheibe
	31	Boot

50	Hochtemperaturofen
100	Verfahren
5	
200	Kalibrationsverfahren
	S1 Anordnung Temperaturreferenzmittel in Prozesskammer
	S2 Anordnung Messvorrichtung vor Öffnung
10	S3 Ermittlung Temperatur in Prozesskammer
	S4 Prüfung, ob Abbruchkriterium erfüllt
	S5 Ändern der Ausrichtung des Erfassungsbereichs
	S6 Erhöhen der Temperatur und Ermitteln des Schmelzprobentem- peraturverlaufs
15	S7 Ermitteln der Plateautemperatur
	L Längsachse
	P1 Längsposition
	P2 Längsposition
20	P3 Längsposition
	T Temperatur
	x, y Freiheitsgrad
	t Zeit
	T _s Schmelztemperatur
25	

Patentansprüche

1. System (1) zur Temperaturermittlung in einer Prozesskam-
mer (2) eines Hochtemperaturofens (50) zur Werkstückverar-
5 beitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, mit einer
beheizbaren Prozesskammer (2), die eine Öffnung (3) auf-
weist,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
eine vor der Öffnung angeordnete Messvorrichtung (4) zur
10 berührungslosen Ermittlung einer Temperatur (T) innerhalb
der Prozesskammer (2) durch die Öffnung (3) hindurch.
2. System (1) nach Anspruch 1,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
eine Manipulationsvorrichtung (5) zum Ausrichten eines Er-
15 fassungsbereichs (16) der Messvorrichtung (4).
3. System (1) nach Anspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Manipulationsvorrichtung (5) eine Positioniervor-
richtung (6) zur Bewegung der Messvorrichtung (4) relativ
20 zur Prozesskammer (2) aufweist.
4. System (1) nach Anspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Positioniervorrichtung (6) zum Bewegen der Mess-
vorrichtung (4) in wenigstens zwei Freiheitsgraden (x, y)
25 eingerichtet ist.
5. System (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

- wenigstens ein außerhalb der Prozesskammer (2) angeordnetes Temperaturmessmittel (8) zur Ermittlung einer Außentemperatur der Prozesskammer (2) und
 - eine Steuervorrichtung (20), die dazu eingerichtet ist, das wenigstens eine Temperaturmessmittel (8) auf Grundlage einer mittels der Messvorrichtung (4) ermittelten Temperatur (T) innerhalb der Prozesskammer (2) zu kalibrieren.
- 6. System (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
wenigstens ein innerhalb der Prozesskammer (2) anordenbares Temperaturreferenzmittel (10) zur Kalibration der Messvorrichtung (4).
- 7. System (1) nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Temperaturreferenzmittel (10) eine von einem Träger (18) gehaltene Schmelzprobe (19) mit einer vordefinierten Schmelztemperatur (T_s) aufweist.
- 8. System (1) nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Schmelzprobe (19) Silizium oder Rutheniumkarbid aufweist und/oder der Träger (18) aus Graphit, Rheniumkarbid, Platinkarbid, Iridiumkarbid oder Rhodiumkarbid gefertigt ist.
- 9. System (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
ein in der Prozesskammer (2) anordenbares Positionsrefe-

renzmittel (24) zur Ausrichtung des Erfassungs-
reichs (16) der Messvorrichtung (4) innerhalb der Prozess-
kammer (2).

10. System (1) nach Anspruch 9,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
 dass das Positionsreferenzmittel (24) wenigstens eine
 Lochscheibe (25) aufweist, die derart ausgebildet ist,
 dass bei Anordnung in der Prozesskammer (2) eine Tempera-
 tur (T) der Lochscheibe (25) in einem Referenzbereich (27)
10 am Rande (29) des Lochs (28) mittels der Messvorrich-
 tung (4) durch die Öffnung (3) hindurch ermittelbar ist.
11. System (1) nach einem der Ansprüche 9 oder 10,
 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
 dass das Positionsreferenzmittel (24) mehrere entlang ei-
15 ner Längsachse (L) der Prozesskammer (2) hintereinander
 anordenbare Positionsreferenzscheiben (30) aufweist, die
 derart ausgebildet sind, dass zumindest in einer vorbe-
 stimmten Reihenfolge und/oder Ausrichtung der in der Pro-
 zesskammer (2) angeordneten Referenzscheiben (30) relativ
20 zueinander die Temperatur (T) in einem Referenzbe-
 reich (27) jeder Referenzscheibe (30) mittels der Messvor-
 richtung (4) durch die Öffnung (3) hindurch ermittelbar
 ist.
12. System (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
 dass das Positionsreferenzmittel (24) einen Vorsprung (26)
 aufweist, der einen Referenzbereich (27) definiert, in dem
 bei Anordnung des Positionsreferenzmittels (24) in der
 Prozesskammer (2) eine Temperatur (T) des Positionsrefe-
30 renzmittels (24) mittels der Messvorrichtung (4) durch die
 Öffnung (3) hindurch erfassbar ist.

13. Verfahren (100) zur Temperaturermittlung in einer Prozesskammer (2) eines Hochtemperaturofens (50) zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung, aufweisend:
- 5 – Anordnen (S2) einer Messvorrichtung (4) zur berührungslosen Ermittlung einer Temperatur (T) vor einer Öffnung (3) einer beheizbaren Prozesskammer (2) eines Hochtemperaturofens (50) zur Werkstückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung; und
- 10 – Messen (S3) einer Temperatur (T) innerhalb der Prozesskammer (2) durch die Öffnung (3) hindurch mittels der Messvorrichtung (4).
14. Verfahren (100) nach Anspruch 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- 15 dass ein Erfassungsbereich (16) der Messvorrichtung (4) vor dem Ermitteln der Temperatur (T) mittels einer Manipulationsvorrichtung (5) auf ein Sichtfeld, das durch die Öffnung (3) und/oder ein innerhalb der Prozesskammer (2) angeordnetes Isolationsmittel (11) zur thermischen Isolation des Bereichs an der Öffnung (3) definiert ist, ausgerichtet wird (S5).
- 20
15. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 13 oder 14,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- 25 dass die Messvorrichtung (4) mittels einer Positioniervorrichtung (6) relativ zur Prozesskammer (2) bezüglich wenigstens zwei Freiheitsgraden (x, y) ausgerichtet wird.
16. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 13 bis 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass

- ein Positionsreferenzmittel (24) mit einem Referenzbereich (27) in der Prozesskammer (2) angeordnet wird,
- das Positionsreferenzmittel (24) durch Beheizung der Prozesskammer (2) erhitzt wird und
- 5 - eine Ausrichtung des Erfassungsbereichs (16) der Messvorrichtung (4) als eine Referenzausrichtung, in welcher die Messvorrichtung (4) eine Temperatur (T) im Referenzbereich (27) erfasst, identifiziert wird, wenn die in dieser Ausrichtung ermittelte Temperatur (T)
- 10 ein vorgegebenes Temperaturkriterium erfüllt.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass

- 15 - mehrere Referenzscheiben (30) eines Positionsreferenzmittels (24) entlang einer Längsachse (L) der Prozesskammer (2) hintereinander angeordnet werden;
- eine vorgegebene Temperaturverteilung in der Prozesskammer (2) erzeugt wird, und
- 20 - für jede der Referenzscheiben (30) eine mit ihrer Längsposition (P1, P2, P3) in der Prozesskammer (2) assoziierte Referenzausrichtung des Erfassungsbereichs (16) der Messvorrichtung (4) ermittelt wird, bei der eine mittels der Messvorrichtung (4) ermittelte Temperatur (T) ein vorgegebenes Temperaturkrite-
- 25 rium erfüllt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 17,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass

- 5 – mehrere Referenzscheiben (30) eines Positionsreferenzmittels (24) mit jeweils einem Referenzbereich (27) entlang einer Längsachse (L) der Prozesskammer (2) in einer vorgegebenen Orientierung relativ zueinander hintereinander angeordnet werden,
- das Positionsreferenzmittel (24) durch Beheizung der Prozesskammer (2) erhitzt wird,
- die Temperatur in der Prozesskammer (2) mittels der Messvorrichtung (4) raumwinkelaufgelöst ermittelt wird, sodass mehrere Temperaturmesswerte in verschiedenen Raumwinkeln ermittelt werden,
- 10 – eine Temperaturverteilung entlang der Längsachse (L) der Prozesskammer (2) auf Grundlage einer Zuordnung der Temperaturmesswerte zu den Referenzbereichen (27) der Referenzscheiben (30) ermittelt wird.
- 15

19. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 13 bis 18,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass

- 20 – ein Temperaturreferenzmittel (10) zur Kalibration der Messvorrichtung (4) innerhalb der Prozesskammer (2) angeordnet wird (S1),
- das Temperaturreferenzmittel (10) durch Beheizung der Prozesskammer (2) erhitzt und dabei ein Verlauf (21) der Temperatur (T) des Temperaturreferenzmittels (10) mittels der Messvorrichtung (4) erfasst wird (S6) und
- 25 – einer Temperatur (T) aus dem Temperaturverlauf (21) eine Schmelztemperatur (T_s) des Temperaturreferenzmittels (10) zugeordnet wird (S7).

20. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 13 bis 18,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass

- 5 – wenigstens ein außerhalb der Prozesskammer (2) ange-
ordnetes Temperaturmessmittel (8) kalibriert wird, in-
dem eine Temperatur innerhalb der Prozesskammer (2)
mittels eines, zumindest abschnittsweise in die Pro-
zesskammer (2) eingeführten Temperatursensors ermit-
telt und Messdaten zugeordnet wird, die beim gleich-
10 zeitigen Messen einer Außentemperatur der Prozesskam-
mer (2) mittels des wenigstens einen Temperaturmess-
mittels (8) erzeugt werden, und
- 15 – die Messvorrichtung (4) kalibriert wird, indem die Au-
ßentemperatur der Prozesskammer (2) mittels dem we-
nigstens einen kalibrierten Temperaturmessmittel (8)
gemessen und Messdaten zugeordnet wird, die beim
gleichzeitigen berührungslosen Messen der Temperatur
in der Prozesskammer (2) mittels der Messvorrich-
tung (4) erzeugt werden.

20 21. Kalibrationsverfahren (200) für wenigstens ein Temperatur-
messmittel (8) eines Hochtemperaturofens (50) zur Werk-
stückverarbeitung, insbesondere Halbleiterprozessierung,
aufweisend:

- 25 – berührungsloses Ermitteln einer Temperatur (T) innerhalb
einer Prozesskammer (2) eines Hochtemperaturofens (50)
für die Werkstückverarbeitung durch eine Öffnung (3) der
Prozesskammer (2) hindurch mittels einer vor der Öff-
nung (3) angeordneten Messvorrichtung (4); und
- 30 – Kalibrieren wenigstens eines außerhalb der Prozesskam-
mer (2) angeordneten Temperaturmessmittels (8), welches

zum Ermitteln einer Außentemperatur der Prozesskammer (2) eingerichtet ist, auf Grundlage der berührungslos ermittelten Temperatur (T).