



<p>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>G01J 5/00</b></p>	<p><b>A1</b></p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/06981</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 10. Februar 2000 (10.02.00)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/05396</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 28. Juli 1999 (28.07.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 33 961.5 28. Juli 1998 (28.07.98) DE 199 34 299.7 21. Juli 1999 (21.07.99) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): STEAG RTP SYSTEMS GMBH [DE/DE]; Daimlerstrasse 10, D-89160 Dornstadt (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LERCH, Wilfried [DE/DE]; Zwischen den Wiesen 17, D-89160 Dornstadt (DE). HAUF, Markus [DE/DE]; Sicherstrasse 11, D-89335 Ichenhausen (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, SG, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p>	

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CALIBRATING MEASUREMENTS OF TEMPERATURES INDEPENDENT OF EMISSIVITY

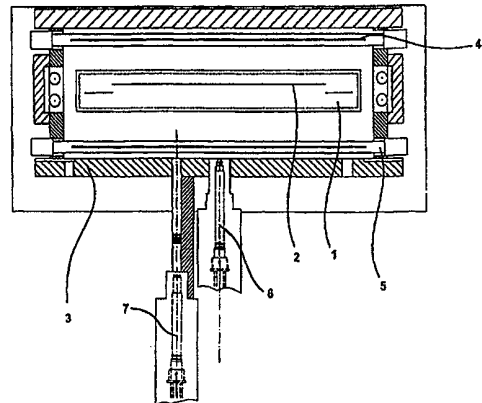
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM KALIBRIEREN VON EMISSIVITÄTSUNABHÄNGIGEN TEMPERATURMESSUNGEN

(57) Abstract

The invention relates to a method or device for calibrating temperature measurements that are carried out using at least one first radiation detector in order to measure one heat radiation emitted by at least one substrate. Said method consists of the following steps: at least one reference substrate carrying at least one material with a known melting point temperature is heated; the thermal radiation of the reference substrate is measured during heating and/or cooling following said heating; a measured value plateau occurring during the measuring process is compared with the known melting point temperature. A device for carrying out the inventive method is also disclosed.

(57) Zusammenfassung

Bei einem Verfahren oder einer Vorrichtung zum Kalibrieren von Temperaturmessungen, die mit wenigstens einem ersten Strahlungsdetektor zum Messen einer von wenigstens einem Substrat abgegebenen Wärmestrahlung vorgenommen werden, sind die folgenden Verfahrensschritte vorgesehen: Erwärmen eines wenigstens ein Referenzmaterial mit bekannter Schmelzpunkttemperatur tragendes Referenzsubstrats auf und/oder über die Schmelzpunkttemperatur; Messen der Wärmestrahlung des Referenzsubstrats während der Erwärmung und/oder einer der Erwärmung folgenden Abkühlung; In-Beziehung-Setzen eines während des Messvorgangs auftretenden Messwertplateaus mit der bekannten Schmelzpunkttemperatur. Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist angegeben.



### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshon	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Verfahren und Vorrichtung zum Kalibrieren von  
emissivitätsunabhängigen Temperaturmessungen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung  
5 zum Kalibrieren von Temperaturmessungen, die mit wenig-  
stens einem ersten Strahlungsdetektor zum Messen einer  
von wenigstens einem Substrat abgegebenen Wärmestrahlung  
vorgenommen werden.

10 Verfahren und Vorrichtungen dieser Art sind beispielswei-  
se im Zusammenhang mit der Fertigung von Halbleitersub-  
straten in einer Reaktionskammer bekannt. Dort werden  
emissivitätsunabhängige Verfahren bevorzugt, bei denen  
eine von einem Substrat kommende Wärmestrahlung im we-  
15 sentlichen unabhängig von der jeweiligen Emissivität ei-  
nes Substrats mit der tatsächlichen Temperatur des Sub-  
strats in Beziehung gesetzt wird. Ein derartiges Verfah-  
ren kompensiert Emissivitätsdifferenzen zwischen unter-  
schiedlichen Substraten. Zum Erreichen eines emissivi-  
20 tätsunabhängigen Meßverfahren werden beispielsweise die  
sogenannte "Ripple-Technik", die beispielsweise in der  
US-A- 5 490 728 sowie der nicht vorveröffentlichten DE  
197 54 386 A derselben Anmelderin beschrieben ist, sowie  
das Cavity-Prinzip verwendet, bei dem beispielsweise eine  
25 verspiegelte Kammer von einem zu messenden Gegenstand auf  
einer Seite abgeschlossen ist, wodurch eine Annäherung an  
einen Hohlraumstrahler mit Emissivität 1 erreicht wird.  
Ein weiteres Verfahren, welches das Cavity-Prinzip ver-  
wendet, ist beispielsweise in der nicht vorveröffentliche-  
30 ten DE 197 37 802 derselben Anmelderin beschrieben, die,  
um Wiederholungen zu vermeiden, zum Gegenstand dieser An-  
meldung gemacht wird. Bei den bekannten Verfahren werden  
Wafer verwendet, auf deren Ober- oder Unterseite ein  
Thermoelement (TC-ThermoCouple) aufgeklebt ist. Die Meß-  
35 abweichung von TC zu TC ist dabei erfahrungsgemäß sehr  
klein, so lange die TCs aus Drahtpaaren gleicher Serie  
gefertigt wurden. Die Streuungen liegen dann in einem Be-

reich von circa 1 bis 2 °K. Aufgrund dieser geringen Streuungen können die Temperaturmessungen auf Emissivitätsunabhängigkeit eingestellt werden, da es hierbei insbesondere auf eine geringe Streuung zwischen den TC's ankommt. Die Meßunsicherheit des absoluten Temperaturwertes ist jedoch bedeutend höher, wobei die Meßunsicherheiten bestenfalls in dem Bereich von 2-3K liegen, und in weniger guten Fällen bei über 10K-20K liegen.

Diese Meßunsicherheiten ergeben sich durch unterschiedliche Faktoren. Unter anderem hängt die Thermospannung des Thermopaars neben der Temperatur auch von der Legierung ab, die aber fertigungsbedingt gewissen Streuungen unterliegt. Ferner sind zwischen dem TC und dessen Verstärker mehrere elektrische Verbindungen vorgesehen, die jeweils gleichzeitig Thermopaare bilden, so daß unsymmetrische Übergänge eine zusätzliche Thermospannung erzeugen. Darüber hinaus besitzen die Klebestellen der TCs einen anderen Absorptionsgrad als die die Klebestellen umgebende Waferoberfläche. Die Gleichgewichtstemperatur der TCs stellt sich also nicht nur mittels Wärmeleitung zwischen Wafer und TC ein, was ideal wäre, vielmehr wird die Temperatur des TC zusätzlich durch die Heizstrahlung der Lampe beeinflusst, weshalb die Temperatur der TCs oft nicht exakt der Temperatur des Substrats entspricht.

Die Meßunsicherheiten entstehen also in erster Linie durch Fehlerquellen, die sich bei allen TCs in gleicher Weise als Meßfehler niederschlagen. TCs sind daher Meßaufnehmer, die zwar eine geringe Streuung, aber eine große absolute Meßgenauigkeit aufweisen.

Zum Erreichen einer besseren Meßgenauigkeit wurden die TCs in einem TC-Kalibrator, d.h. einem Ofen mit sehr homogener Temperaturverteilung im Inneren bezüglich einer Absoluttemperaturmessung kalibriert. Mehrere unkalibrierte TCs wurden zusammen mit einem Referenz-TC in den Ofen

eingebraucht, wobei das Referenz-TC seinerseits bei einem separaten Kalibrierdienst mit Hilfe eines Transferpyrometers bezüglich einer Primärreferenz kalibriert wurde. Diese mehrfachen Kalibrierungen erfordern unterschiedliche Vorrichtungen, sie sind sehr aufwendig, und aufgrund der vielen Schritte ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, daß Fehler in die Kalibrierung eingeführt werden, wodurch sich wiederum Meßunsicherheiten am Ende ergeben.

10 Aus der US 5,265,957 ist ferner eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Kalibrieren eines Temperatursensors gezeigt, bei dem ein Wafer mit einer Vielzahl von Kalibrierinseln eines Referenzmaterials mit einem Schmelzpunkt in dem Bereich von 150°C bis 550°C versehen wird. Während 15 einer Erwärmung eines derartigen Wafers wird die effektive Reflektivität des Wafers durch den Temperatursensor gemessen, und eine erste sprunghafte Veränderung eines Ausgangssignals des Temperatursensors wird mit einer Wafertemperatur gleichgesetzt, welche dem Schmelzpunkt des Referenzmaterials entspricht. Anschließend werden Temperatursensor-Kalibrierparameter berechnet. Das Prinzip ist in Fig. 6 verdeutlicht. Das Signal I eines Temperatursensors (Pyrometers) wird dabei als Funktion der Zeit t während der Erwärmung des Wafers aufgenommen. Damit sich die 25 Reflektivität des Wafers am Phasenübergang des Referenzmaterials ändert, muß das Referenzmaterial oberflächennah angeordnet werden, so daß dieses im Bereich der Eindringtiefe der Meßwellenlänge ist. Am Phasenübergang des Referenzmaterials tritt, wie in Fig. 6 dargestellt, die erwähnte sprunghafte Veränderung des Pyrometersignals auf. 30 Das in US 5,265,957 dargestellte Verfahren weist erhebliche Nachteile auf. So läßt sich beispielsweise der Schmelztemperatur  $T_m$  aufgrund der sprunghaften Änderung des Pyrometersignals kein eindeutiger Pyrometerwert zuordnen, wodurch sich ein systematischer Meßfehler  $\Delta I$  für das 35 Kalibrierverfahren ergibt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der Eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem bzw. bei der die Kalibrierung von Temperaturmessungen auf einfache und kostengünstige Weise mit größerer Genauigkeit durchgeführt werden kann.

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der Eingangs genannten Art gelöst, das die folgenden Verfahrensschritte aufweist: Erwärmen eines wenigstens ein Referenzmaterial mit bekannter Schmelzpunkttemperatur tragenden Referenzsubstrat auf/oder über die Schmelzpunkttemperatur; Messen der Wärmestrahlung des Referenzsubstrats während der Erwärmung und/oder einer der Erwärmung folgenden Abkühlung; In-Beziehung-Setzen eines während des Meßvorgangs auftretenden Meßwertplateaus mit der bekannten Schmelzpunkttemperatur.

Durch Erwärmung des auf dem Referenzsubstrat befindlichen Referenzmaterial steigt die Temperatur des Referenzsubstrats sowie des Referenzmaterials an, bis sie die Schmelzpunkttemperatur des Referenzmaterials erreicht. An der Schmelzpunkttemperatur angelangt, steigt die Temperatur nicht weiter an, bis das Referenzmaterial komplett von der festen in die flüssige Phase übergegangen ist, bis also dem Referenzmaterial die latente Wärme zugeführt worden ist. Beim Abkühlen kehrt sich dieser Vorgang in bekannter Weise um. Da die Schmelzpunkttemperatur des Referenzmaterials genau bekannt ist, kann ein während der Erwärmung und/oder einer der Erwärmung folgende Abkühlung gemessenes Meßwertplateau daher mit der bekannten Schmelzpunkttemperatur in Beziehung gesetzt werden, wodurch eine einfache Kalibrierung einer Absoluttemperaturmessung erreicht wird.

Vorteilhafterweise wird das Meßwertplateau während der Erwärmung und/oder der Abkühlung des Referenzsubstrats ermittelt. Bevorzugt wird aber die Ermittlung des Meß-

wertplateaus während der Abkühlung vorgenommen, da das Referenzmaterial im geschmolzenen Zustand vor der vollständigen Erstarrung in besonders gutem Wärmeleitkontakt zu dem Referenzsubstrat steht.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren weist im Vergleich zu dem oben beschriebenen Verfahren der US 5,265,957 erhebliche Vorteile auf. Da das Verfahren nicht von Änderungen der Emissivität des Referenzsubstrats abhängig ist, ist es möglich, das Referenzmaterial mit einer dicken Schutzschicht zu umgeben, bzw. das Referenzmaterial im Inneren des Referenzsubstrats anzuordnen. Auf eine Anordnung in der Nähe der Oberfläche kann verzichtet werden. Dies hat den Vorteil, daß Kontaminationen der Prozeßkammer durch das Referenzmaterial vermieden werden. Dies ist jedoch die Grundvoraussetzung für eine breite Anwendung des Referenzsubstrats in der Halbleitertechnologie.

10

15

Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus dem Auftreten eines Meßwertplateaus bei der bekannten Schmelztemperatur, wie dies in Fig. 7 schematisch dargestellt ist. Im Gegensatz zu dem in der US 5,265,957 beschriebenen Verfahren ist beim erfindungsgemäßen Verfahren aufgrund des Plateaus eine eindeutig Zuordnung eines Strahlungsdetektorsignals zu einer Schmelzpunkttemperatur möglich. Der oben erwähnte systematische Fehler  $\Delta I$  ist beim erfindungsgemäßen Verfahren minimiert.

20

25

Die Ausbildung eines Plateaus hat ferner den Vorteil, daß sich während der Zeit  $t_p$  ein thermischer Gleichgewichtszustand zwischen dem Referenzmaterial und dem Referenzsubstrat ausbildet, wodurch mögliche Temperaturunterschiede minimiert werden. Weiterhin ist vorteilhaft, daß sich beim erfindungsgemäßen Verfahren optische Eigenschaften der Oberfläche des Referenzsubstrats nicht ändern. Wird beispielsweise das Referenzsubstrat (mit Ausnahme des sich im Inneren befindlichen Referenzmaterials)

30

35

aus dem gleichen Material gewählt, wie die später zu prozessierenden Substrate (z. B. Si), so weist das Referenzsubstrat dieselbe Emissivität auf wie diese Substrate. Dadurch läßt sich die Kalibrierung des Strahlungsdetektors sogar ohne Emissivitätskompensation direkt beim Prozessieren von Substraten einsetzen. Lediglich wenn die Substrate z. B. aufgrund anderer Oberflächenbeschaffenheit eine andere (spektrale) Emissivität aufweisen, ist eine Emissivitätskompensation oder ~~korrektur~~korrektur durchzuführen, wie dies weiter unten dargestellt ist. Ist ein Prozessieren der Substrate ohne Emissivitätskompensation möglich, so hat dies ferner den Vorteil, daß nur ein Strahlungsdetektor für die Temperaturmessung erforderlich ist. Ein derartiges Temperaturmeßverfahren mit nur einem Strahlungsdetektor ist mit dem in der US 5,265,957 beschriebenen Verfahren nicht möglich, da sich bei diesem Verfahren die Emissivität der Oberfläche des Referenzsubstrats am Phasenübergang ändert.

Damit das Plateau meßtechnisch gut erfaßbar ist, sollte die Masse des Referenzmaterials wenigstens 1% der Gesamtmasse des Referenzsubstrats betragen. Dieses geringe Massenverhältnis kann gewählt werden, da die spezifische Schmelzwärme ein Vielfaches der spezifischen Wärmekapazität beträgt. Damit sich die optischen Eigenschaften der Oberfläche des Referenzsubstrats nicht ändern, wird die Schutzschicht des Referenzmaterials bevorzugt wenigstens gleich der dreifachen optischen Abschwächlänge, die die Schutzschicht für die Meßwellenlänge des Strahlungsdetektors aufweist, gewählt.

Um eine emissivitätsunabhängigen Temperaturmessung zu erreichen, erfolgt die Erwärmung des Referenzsubstrats gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung mit wenigstens einer Strahlungsheizquelle, deren abgegebene Strahlung mit wenigstens einem charakteristischem Parameter moduliert, vorteilhafterweise aktiv modu-

liert wird, wobei die von der wenigstens einen Strahlungsheizquelle abgegebene Strahlung mit wenigstens einem zweiten Strahlungsdetektor ermittelt wird, und wobei die von dem ersten Strahlungsdetektor ermittelte Strahlung zum Kompensieren der von dem Referenzsubstrat reflektierten Strahlung der Strahlungsquelle durch die von dem zweiten Strahlungsdetektor ermittelte Strahlung korrigiert wird.

Aufgrund der charakteristischen bekannten Modulation der Strahlungsquelle ist es möglich, zwischen der von dem Gegenstand selbst abgestrahlten Strahlung, die für die Ermittlung der Temperatur des Referenzsubstrats erforderlich ist, und der reflektierten Strahlung der Strahlungsquelle zu unterscheiden. Für weitere Vorteile und Einzelheiten bezüglich der als Ripple-Technik bekannten Modulation und Auswertung der Strahlung der Strahlungsquelle wird auf die US-A-5 490 728, sowie die nicht veröffentlichte DE 197 54 386 A derselben Anmelderin Bezug genommen, die insofern zum Inhalt der vorliegenden Beschreibung gemacht werden.

Auf diese Weise ist es möglich, unabhängig von der Kenntnis der Emissivität des Referenzsubstrats eine Kalibrierung bezüglich der Absoluttemperatur zu erreichen. Um das Meßsystem auf eine Unabhängigkeit bezüglich der Emissivität einzustellen kann es mit Hilfe von TC-Wafern vorkalibriert werden, da es hierbei primär auf eine geringe Streuung zwischen den TCs ankommt.

Vorteilhafterweise wird die Modulation zur Charakterisierung der von der Strahlungsquelle abgegebenen Strahlung bei der Korrektur der vom ersten Strahlungsdetektor ermittelten Strahlung herangezogen, wodurch eine Unterscheidung der Strahlung von der eigentlich zu messenden Strahlung, die vom Referenzsubstrat selbst abgegeben

wird, besonders einfach, zuverlässig und quantitativ genau ermöglicht wird.

Die von der Strahlungsquelle abgegebene Strahlung wird  
5 vorzugsweise amplituden- frequenz- und/ oder phasenmoduliert. Je nach den vorhandenen Gegebenheiten und Erfordernissen ist die Wahl der Modulationsart wählbar, wobei die Modulationsart insbesondere auch im Hinblick auf die Einfachheit und Zuverlässigkeit des Modulationsverfahrens  
10 aber auch des Auswerteverfahrens und des Detektierverfahrens auswählbar ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besteht die Strahlungsheizquelle aus mehreren Lampen, wobei  
15 wenigstens die Strahlung von einer der Lampen moduliert ist, vorteilhafterweise aber die Strahlung von allen Lampen moduliert ist.

Vorteilhafterweise wird der Modulationsgrad oder die Modulationstiefe gesteuert, wodurch er bzw. sie bekannt  
20 ist, und die Detektion und Auswertung vereinfacht wird.

Die Emissivitätsunabhängigkeit der Temperaturmessung kann vorteilhafterweise auch dadurch erreicht werden, daß die  
25 Messung der vom Substrat abgegebenen Wärmestrahlung auf einer Seite des Substrats erfolgt, die wenigstens einen Teilbereich eines Hohlraumstrahlers bildet.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind mehrere Referenzmaterialien mit jeweils unterschiedlichen Schmelzpunkttemperaturen auf dem Referenzsubstrat vorgesehen, und es werden während der Erwärmung und/oder Abkühlung die jeweiligen Meßwertplateaus  
30 ermittelt, und jeweils mit einer der bekannten Schmelzpunkttemperaturen in Beziehung gesetzt.  
35

Die vorliegende Erfindung ist mit großem Vorteil zur Kalibrierung einer Temperaturmessung im Zusammenhang mit einer Vorrichtung zur thermischen Behandlung von Substraten in einem Ofen, in dem die Substrate schnell und mit  
5 einem möglichst genauen, vorgegebenen Temperaturverlauf aufgeheizt und abgekühlt werden, anwendbar.

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß auch durch eine Vorrichtung zum Kalibrieren von Temperaturmessungen der Eingangs genannten Art gelöst, die folgendes auf-  
10 weist: ein Referenzmaterial mit bekannter Schmelzpunkttemperatur, das an einem Referenzsubstrat angebracht ist, eine Strahlungsquelle zum Erwärmen des Referenzsubstrats, dessen abgegebene Strahlung mittels einer Modulationseinrichtung vorzugsweise aktiv mit wenigstens einem charakteristischen Parameter modulierbar ist, sowie wenigstens  
15 einen zweiten Strahlungsdetektor, zur Messung der von der wenigstens einen Strahlungsquelle abgegebenen Strahlung, und eine Einrichtung zum Korrigieren der vom ersten  
20 Strahlungsdetektor ermittelten Strahlung, zur Kompensation der vom Referenzsubstrat reflektierten Strahlung der Strahlungsquelle durch die vom zweiten Strahlungsdetektor ermittelte Strahlung.

25 Durch die Verwendung eines Referenzsubstrats mit einem darauf angebrachten Referenzmaterial mit bekannter Schmelzpunkttemperatur in Kombination mit der aktiven Modulation ergeben sich wiederum die oben genannten Vorteile einer emissivitätsunabhängigen einfachen Kalibrierung  
30 einer Temperaturmessung.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung weist die Vorrichtung einen Hohlraumstrahler auf, der zumindest teilweise durch das Substrat gebildet ist.

35

Vorzugsweise wird der Hohlraumstrahler durch eine verspiegelte Kammer gebildet, deren eine Wand zumindest

teilweise durch das Substrat gebildet wird. Vorteilhafterweise kann der Hohlraumstrahler auch durch eine Platte gebildet werden, die parallel zu dem Substrat angeordnet ist.

5 Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist an dem Referenzsubstrat eine Abdeckung vorgesehen, die zwischen sich und dem Referenzsubstrat eine Kammer zur Aufnahme des Referenzmaterials vorsieht. Vorzugsweise ist die Kammer gegenüber der Umgebung abgedichtet um zu verhindern,  
10 daß das Referenzmaterial die zu kalibrierende Vorrichtung verunreinigt. Um einen gleichmäßigen Druck (Partialdruck des Referenzmaterials) in der Kammer zu gewährleisten, ist diese vorteilhafterweise evakuiert, was auch den Vorteil mit sich bringt, daß kein flüssiges Referenzmaterial  
15 unter dem Druck eines erhitzten Restgases durch eventuell vorhandene Mikrorisse nach außen gedrückt wird. Vorteilhafterweise ist das ganze Referenzsubstrat verglast.

Vorteilhafterweise weist das Referenzsubstrat wenigstens  
20 eine Vertiefung zur Aufnahme des wenigstens einen Referenzmaterials auf, wodurch der Boden des Referenzsubstrats im Bereich des Referenzmaterials möglichst dünn ist, um eine Temperaturdifferenz zwischen der Unterseite des Referenzsubstrats und dem Referenzmaterial möglichst  
25 gering zu halten. Aus Stabilitätsgründen werden mehrere Ausnehmungen bevorzugt. Um mechanische Spannungen aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten zwischen dem Referenzsubstrat und dem Referenzmaterial zu vermeiden sind die Wände der Ausnehmungen vorzugsweise abge-  
30 schrägt.

Vorteilhafterweise besitzt das Referenzsubstrat die gleiche Größe und/oder Form und/oder das gleiche Gewicht, wie das Substrat, dessen Temperatur nach der Kalibrierung gemessen werden soll, um das Referenzsubstrat mit einem  
35 vorhandenen Handlingsystem für das zu messende Substrat zu handhaben. Auf diese Weise kann eine Kalibrierung oder

eine zeitweise Nachkalibrierung automatisiert werden. Der Vorteil gegenüber den herkömmlichen TC-Substraten liegt hierbei nicht nur in der Erhöhung der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit, sondern auch darin, daß ein TC-Substrat aufgrund der Anschlußdrähte nicht automatisch gehandelt werden kann und die Drähte nach dem Einbau des TC-Substrats angeklemt werden müssen. Dieser Umstand fällt bei dem beschriebenen Referenzsubstrat weg.

Vorteilhafterweise ist das wenigstens eine Referenzmaterial ein Metall, da für Metalle, insbesondere hoch reine Metalle, die Schmelzpunkttemperaturen sehr genau bekannt bzw. definiert sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind unterschiedliche Referenzmaterialien mit unterschiedlichen Schmelzpunkttemperaturen auf dem Referenzsubstrat vorgesehen, um eine Kalibrierung bei unterschiedlichen Temperaturen zu gewährleisten.

Vorteilhafterweise ist wenigstens ein Referenzmaterial an unterschiedlichen Stellen auf dem Referenzsubstrat angeordnet, wodurch sichergestellt werden kann, daß das Referenzmaterial das Blickfeld des ersten Strahlungsdetektors abdeckt.

Vorteilhafterweise trägt das Referenzsubstrat, das wenigstens eine Referenzmaterial auf einer dem Bestrahlungsdetektor abgewandten Seite. Um eine hohe Emissivität des Referenzsubstrats zu erreichen, sind vorteilhafterweise auf einer dem Strahlungsdetektor zugewandten Seite des Referenzsubstrats Strukturen, wie zum Beispiel Mikrokanäle, vorgesehen.

Um Primärreferenzen mit unterschiedlichen Emissivitäten zu erhalten ist eine Vielzahl von Referenzsubstraten mit unterschiedlichen optischen Schichten vorgesehen. Durch

vorsehen von Primärreferenzen mit unterschiedlichen Emissivitäten ergibt sich die Möglichkeit auf eine aufwendige Vorkalibrierung mit TC-Wafern vollständig zu verzichten.

5

Aufgrund der relativ leichten Herstellung und der thermischen Eigenschaften von keramischen Material ist der Referenzwafer vorzugsweise aus demselben hergestellt.

10

Die vorliegende Vorrichtung ist mit großem Vorteil zur Kalibrierung einer Vorrichtung zur schnellen thermischen Behandlung von Substraten mit einem Ofen, in dem die Substrate schnell und mit einem möglichst genauen, vorgegebenen Temperaturverlauf aufgeheizt und abgekühlt werden, geeignet.

15

Die Erfindung wird nachstehend im Zusammenhang mit dem Beispiel einer Vorrichtung zum Aufheizen von Halbleiterwafern unter Bezugnahme auf die Figuren erläutert. Es zeigen:

20

- Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine Schnellheisanlage zur Behandlung von Halbleiterwafern in schematischer Darstellung,
- Fig. 2 einen Querschnitt entlang der in Fig. 1 eingezeichneten Schnittlinie II-II,
- 25 Fig. 3 eine Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Referenzsubstrat, wobei zur Verdeutlichung eine Abdeckung weggelassen wurde,
- Fig. 4 eine Schnittansicht des erfindungsgemäßen Referenzsubstrats mit Abdeckung,
- 30 Fig. 5 eine vergrößerte Teilschnittansicht des Referenzsubstrats,
- Fig. 6 eine Temperatur-Zeit-Kurve für ein Referenzsubstrat nach dem Stand der Technik,
- 35 Fig. 7 eine Temperatur-Zeit-Kurve für das erfindungsgemäße Referenzsubstrat;

Fig. 8 ein mit Thermoelementen bestücktes Referenzsubstrat.

Die in Fig. 1 und 2 dargestellte Ausführungsform eines Schnellheizofens zur Behandlung von Halbleiterwafern 2 zeigt eine vorzugsweise aus Quarzglas bestehende Reaktionskammer 1 mit einem darin befindlichen Halbleiterwafer 2. Die Reaktionskammer 1 ist von einem Gehäuse 3 umgeben, daß jeweils oben und unten Lampen 4, 5 aufweist, deren Strahlung auf die Reaktionskammer 1 gerichtet ist. Ein schematisch dargestelltes Pyrometer 6 (vgl. insbesondere Fig. 2) mit einem großen Eintrittswinkel mißt die vom Halbleiterwafer 2 emittierte Strahlung, sowie die am Halbleiter 2 reflektierte Strahlung der Lampen 5, die im dargestellten Ausführungsbeispiel als Stablampen ausgebildet sind. Eine Anordnung dieser Art ist beispielsweise in der nicht vorveröffentlichten DE 197 37 802 A oder der nicht vorveröffentlichten DE 197 54 386 A derselben Anmelderin beschrieben, so daß zur Vermeidung von Wiederholungen darauf Bezug genommen wird, und die Anmeldungen insofern zum Inhalt der vorliegenden Beschreibung gemacht werden.

Ein weiteres Pyrometer 7 erhält über optische Leitungen oder Lichtkanäle 8 das von den Lampen 5 abgestrahlte Licht direkt zugeleitet. Um Wiederholungen hinsichtlich dieses sogenannten Lampenpyrometers 7 und der Anordnung zum Bestrahlen des Lampenpyrometers 7 mit dem Licht der Lampe 5 zu vermeiden, wird auf die nicht vorveröffentlichte DE 197 54 385 A derselben Anmelderin verwiesen, die insofern zum Inhalt der vorliegenden Anmeldung gemacht wird.

Die Figuren 3 bis 5 zeigen ein erfindungsgemäßes Referenzsubstrat in der Form eines Referenzwafers 10, der zur Kalibrierung des in den Figuren 1 und 2 dargestellten Pyrometers 6 verwendet wird. Der Referenzwafer 10 besitzt

eine flache, runde Form, die im wesentlichen der eines zu behandelnden Halbleiterwafers 2 entspricht. Der Referenzwafer 10 weist einen Grundkörper 12 aus keramischem Material auf, der im Mittelbereich eine kreisförmige Erhöhung 13 aufweist. Im Bereich der Erhöhung 13 sind kreisförmige Ausnehmungen 15 zur Aufnahme eines Referenzmaterials in der Form von Metallschmelzeinlagen 17 mit bekannter Schmelzpunkttemperatur vorgesehen. Um eine bessere Flächendeckung zu erreichen, können die Ausnehmungen auch hexagonal (wabenförmig) ausgebildet sein und über den ganzen Querschnitt des Grundkörpers 12 angeordnet sein. Um Spannungen zwischen dem Grundkörper 12 und der Metallschmelzeinlage zu vermeiden wird vor der ersten Verwendung eine Metalltablette lose in die Ausnehmung gelegt, die dann nach dem ersten Schmelzen immer mit maximal zulässigem Durchmesser erstarrt. Beim weiteren abkühlen zieht sich dann das Metall schneller zusammen als der Grundkörper. Beim wiederholten Aufheizen schmilzt dann das Metall gerade bevor mechanische Spannungen auftreten können.

Wie in Fig. 3 zu sehen ist, sind 19 kreisförmige Ausnehmungen 15 vorgesehen, in denen sich jeweils eine Metallschmelzeinlage 17 mit bekannter Schmelzpunkttemperatur befindet. Die Anzahl der Ausnehmungen 15 ist jedoch für die Erfindung unerheblich und sie kann an die Stabilitätsanforderungen des Grundkörpers 12 oder sonstige Parameter angepaßt werden. Zum Beispiel ist es möglich, nur eine Ausnehmung zur Aufnahme der Metallschmelzeinlage 17 vorzusehen, wobei darauf geachtet werden sollte, daß die Ausnehmung im Blickfeld des Pyrometers 6 liegt. Gemäß weiterer Ausführungsformen sind innerhalb der Ausnehmungen statt Metallschmelzeinlagen 17 mit gleichen, bekannten Schmelzpunkten, unterschiedliche Metallschmelzeinlagen mit unterschiedlichen Schmelzpunkten vorgesehen.

Über der Erhöhung 13 und den Metallschmelzeinlagen 17 befindet sich eine Abdeckung 20, die in ihrem Randbereich 22 mit dem Grundkörper 12 in abdichtender Weise verbunden ist. Diese Verbindung kann auf bekannte Art und Weise  
5 durch Verkleben, Verschweißen oder ein sonstiges in der Technik bekanntes Verfahren erfolgen. Zwischen der Abdeckung 20 und der Erhöhung 13 bzw. den Metallschmelzeinlagen 17 wird eine Kammer 23 gebildet, die evakuiert ist. Es ist auch denkbar statt eine Abdeckung vorzusehen, den  
10 ganzen Referenzwafer zu verglasen, bzw. eine Kombination dieser beiden Merkmale vorzusehen.

Obwohl das Referenzsubstrat anhand eines speziellen Ausführungsbeispiels beschrieben wurde, sei bemerkt, daß das  
15 Referenzsubstrat eine unterschiedliche Form und Ausgestaltung aufweisen kann, ohne daß dadurch der Erfindungsgedanke verlassen wird. Zum Beispiel könnte die Erhöhung 13 im Mittelbereich weggelassen werden, und die Ausnehmungen 15 könnten direkt im Grundkörper 12 ausgebildet  
20 sein. Statt die Metallschmelzeinlagen 17 in Ausnehmungen in dem Grundkörper 12 vorzusehen, ist es auch möglich, sie ohne Ausnehmungen flächig auf dem Grundkörper aufzubringen. Auch eine Strukturierung der dem Referenzmaterial abgewandten Oberfläche des Grundkörpers zur Erhöhung  
25 seiner Emissivität wäre denkbar.

Zur Kalibrierung des Pyrometers 6 der oben genannten Vorrichtung zur Behandlung von Halbleiterwafern wird der Referenzwafer 10 mittels einer vorhandenen, nicht näher  
30 dargestellten Handlingvorrichtung in die Reaktionskammer 1 eingebracht, und zwar in die selbe Position wie der in Fig. 1 dargestellte Halbleiterwafer 2. Nachfolgend wird die Reaktionskammer verschlossen und der Referenzwafer 10 wird mittels der Lampen 4, 5 erwärmt, wobei das Pyrometer  
35 6 die von dem Referenzwafer 10 emittierte Strahlung sowie die daran reflektierte Strahlung der Lampe 5 mißt. Während der Erwärmung steigt in gleicher Weise die Tempera-

tur der Metallschmelzeinlage an, bis sie ihren Schmelzpunkt erreicht. Ab diesem Zeitpunkt steigt die Temperatur der Metallschmelzeinlage nicht weiter an. Aufgrund der guten thermischen Leitfähigkeit und der dadurch schnellen  
5 Temperaturanpassung zwischen der Metallschmelzeinlage 17 und dem Referenzwafer 10 steigt auch die Temperatur des Referenzwafers 10 nicht weiter an, bis die Metallschmelzeinlage 17 komplett von der festen in die flüssige Phase übergegangen ist, d.h. bis der Metallschmelzeinlage 17  
10 die latente Wärme zugeführt wurde. Die gleichbleibende Temperatur wird als Meßwertplateau durch das Pyrometer 6 gemessen und durch eine nicht näher dargestellte Vorrichtung mit der bekannten Schmelzpunkttemperatur in Beziehung gesetzt.

15  
Nachdem die Metallschmelzeinlage 17 vollständig geschmolzen ist und keine latente Wärme mehr aufnimmt, steigt die Temperatur des Referenzwafers 10 weiter an. Daraufhin wird die Erwärmung gestoppt und der Referenzwafer 17 wird  
20 abgekühlt bzw. kühlt er sich ab.

Beim Abkühlen kehrt sich der Vorgang um. Die Metallschmelzeinlage 17 kühlt bis zum Erstarrungspunkt ab und deren Temperatur bleibt dann so lange im wesentlichen  
25 konstant, bis die Einlage 17 ihre latente Wärme vollständig abgegeben hat und wieder in fester Phase vorliegt. Hierdurch ergibt sich wiederum ein Meßwertplateau bei der Pyrometermessung, das mit dem bekannten Schmelzpunkt der Einlage 17 in Beziehung gesetzt werden kann.

30  
Die Ermittlung des Meßwertplateaus während der Abkühlung ist vorteilhaft, weil die Einlage 17 im geschmolzenen Zustand einen besseren thermischen Kontakt zu dem Referenzsubstrat 10 besitzt, und daher der Temperatúrausgleich  
35 zwischen Einlage 17 und Referenzsubstrat 10 schneller vonstatten geht.

Da sich die gemessene Wärmestrahlung von dem Referenz-Substrat in Abhängigkeit von der Emissivität des Substrats verändern kann, wird zum Erreichen einer Emissivitätsunabhängigkeit während des zuvor beschriebenen Vorgangs die von den Lampen 4, 5 emittierte Strahlung vorzugsweise aktiv und in einer definierten Weise moduliert, und die von den Lampen 5 emittierte Strahlung wird direkt mit dem Lampenpyrometer 7 gemessen. Die Ausgangssignale der Pyrometer 6 und 7 werden einer nicht dargestellten Auswerteschaltung zugeführt. Sie ermittelt die vom Referenzwafer 10 emittierte Strahlung, indem sie die auf das Pyrometer 6 fallende Strahlung, die sich aus vom Wafer 10 emittierter und reflektierter Strahlung zusammensetzt, mit der vom Pyrometer 7 ermittelten Strahlung in Beziehung setzt. Dies ist deshalb möglich, weil die von den Lampen 5 emittierte Strahlung in einer bekannten Weise moduliert ist. Diese Modulation ist auch in der vom Pyrometer 6 aufgenommenen Strahlung enthalten, so daß durch Vergleich oder In-Beziehung-Setzen der Modulationsgrade und/oder der Modulationstiefen der von den Pyrometern 6 und 7 aufgenommenen Strahlung eine Kompensation der vom Referenzwafer 10 reflektierten Lampenstrahlung in der vom Waferpyrometer 6 aufgefangenen Strahlung möglich ist. Dadurch kann das Verhältnis zwischen der vom Wafer 10 emittierten und der reflektierten Strahlung ermittelt werden, um eine Ermittlung der Emissivität des Wafers 10 zu ermöglichen. Aufgrund der Emissivität kann nun die bekannte Schmelzpunkttemperatur der Einlage 17 mit der vom Referenzwafer 10 emittierten Strahlung in Beziehung gesetzt werden, um eine Kalibrierung bezüglich der Absoluttemperatur vorzusehen.

Eine derartige Modulation und Ermittlung der von einem Substrat emittierten Strahlung ist beispielsweise in der nicht vorveröffentlichten DE 197 54 386 A derselben Anmelderin, sowie in der US-A-5 490 728 beschrieben, so daß zur Vermeidung von Wiederholungen darauf Bezug genommen

wird, und diese Druckschriften insofern zum Inhalt der vorliegenden Beschreibung gemacht werden.

5 Zum Erreichen einer im wesentlichen emissivitätsunabhängigen Messung könnte anstelle der oben beschriebenen Ripple-Technik beispielsweise auch das sogenannte Cavity-Prinzip verwendet werden, bei dem durch Verwendung einer verspiegelten Kammer versucht wird, einen Hohlraumstrahler nachzuahmen.

10

Nachfolgend wird ein Dimensionierungsvorschlag für das Referenzsubstrat angegeben. Um ein möglichst gleichmäßiges Aufheizen des Referenzsubstrats zu gewährleisten, wird dieses bevorzugt so dimensioniert, daß die thermische Masse pro Flächeneinheit über das Substrat konstant  
15 ist. Dies kann z. B. durch die Variation der Dicke der Referenzmaterialien erreicht werden, so daß die folgende Gleichung erfüllt ist:

$$20 \quad d_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 + d_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 + d_3 \cdot \rho_3 \cdot c_3 = d_4 \cdot \rho_4 \cdot c_4 \quad (1)$$

Hierbei sind  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  und  $d_4$  die Dicken des Referenzsubstrats an der Schmelzmetalleinlage, die Dicke des  
25 Schmelzmetalls, die Dicke der Abdeckung des Schmelzmetalls bzw. die Dicke des Referenzsubstrats in Bereichen ohne Schmelzmetalleinlage. Die zugehörigen Dichten bzw. Wärmekapazitäten sind mit  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_4$  bzw.  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  bezeichnet.

30

Die Leistungsdichte  $P$  (Leistung/Fläche) z. B. einer RTP-Anlage und die Aufheizgeschwindigkeit  $R$  (Ramprate) kann vereinfacht mittels der folgenden Gleichung dargestellt werden:

35

$$d_4 \cdot \rho_4 \cdot c_4 \cdot R = P \quad (2)$$

Durch diese Beziehung wird bei einer vorgegebenen Auf-  
 heizgeschwindigkeit  $R$  die erforderliche Leistungsdichte  $P$   
 definiert, um das Referenzsubstrat homogen (siehe Gleichung (1)) aufzuheizen. Erreicht das Referenzmaterial  
 5 seinen Schmelzpunkt, so ist zu dessen Schmelzung die  
 (flächenbezogene) Energie  $E_L$  erforderlich, die sich aus  
 der folgenden Gleichung ergibt:

$$E_L = d_2 \cdot \rho_2 \cdot c_s \quad (3)$$

10

wobei  $c_s$  die spezifische Schmelzwärme des Referenzmateri-  
 als ist. Wird die Leistungsdichte  $P$  des RTP-Systems un-  
 verändert beibehalten, so läßt sich die Plateauzeit  $t_p$   
 (siehe Fig. 7) abschätzen anhand der folgenden Gleichung:

15

$$t_p = E_L/P \quad (4)$$

wobei  $E_L$  und  $P$  aus Gleichung (2) bzw. (3) zu entnehmen  
 sind. Dadurch läßt sich ein Plateau-Zeit-Rampratenprodukt  
 20 angeben:

$$Z = t_p \cdot R = d_2 \cdot \rho_2 \cdot c_s / d_4 \cdot \rho_4 \cdot c_4 \quad (5)$$

Dieses Produkt enthält nur die materialspezifischen Grö-  
 25 ßen und die jeweiligen Schichtdicken. Damit läßt sich bei  
 einem vorgegebenen Produkt  $Z$  mittels Gleichung (5) und  
 Gleichung (1) bei der Wahl von z. B.  $d_1$ , die Dicke des  
 Schmelzmetalls  $d_2$  und die Dicke des Referenzsubstrats  $d_4$   
 am Randbereich berechnen. Hier ist zur Vereinfachung  $d_3 =$   
 30 0 angenommen. Vorteilhaft kann jedoch auch  $d_3 = d_1$  ge-  
 wählt werden, insbesondere bei  $c_1 = c_3$ . Ist z. B.  $d_1 = 1$   
 mm (oder  $d_1 + d_3 = 1$  mm bei  $c_1 = c_3$ ), so ergeben sich für  
 ein Referenzsubstrat aus Silizium bei einem Plateauzeit-  
 Rampratenprodukt von 100 K für die Schmelzmetalle Germa-  
 35 nium bzw. Aluminium Schmelzmetalldicken  $d_2$  von 0,071 mm  
 bzw. 0,2 mm, wobei der Außenbereich des Referenzsubstrats  
 Dicken  $d_4$  von 1,074 mm bzw. 1,3 mm aufweist.

$$d_4 \cdot \rho_4 \cdot c_4 \cdot R = P \quad (2)$$

Durch diese Beziehung wird bei einer vorgegebenen Auf-  
5 heizgeschwindigkeit R die erforderliche Leistungsdichte P  
definiert, um das Referenzsubstrat homogen (siehe Gleichung (1)) aufzuheizen. Erreicht das Referenzmaterial seinen Schmelzpunkt, so ist zu dessen Schmelzung die  
(flächenbezogene) Energie  $E_L$  erforderlich, die sich aus  
10 der folgenden Gleichung ergibt:

$$E_L = d_2 \cdot \rho_2 \cdot c_s \quad (3)$$

wobei  $c_s$  die spezifische Schmelzwärme des Referenzmateri-  
15 als ist. Wird die Leistungsdichte P des RTP-Systems unverändert beibehalten, so läßt sich die Plateauzeit  $t_p$   
(siehe Fig. 7) abschätzen anhand der folgenden Gleichung:

$$t_p = E_L/P \quad (4)$$

20 wobei  $E_L$  und P aus Gleichung (2) bzw. (3) zu entnehmen sind. Dadurch läßt sich ein Plateau-Zeit-Rampratenprodukt angeben:

$$25 \quad Z = t_p \cdot R = d_2 \cdot \rho_2 \cdot c_s / (d_4 \cdot \rho_4 \cdot c_4) \quad (5)$$

Dieses Produkt enthält nur die materialspezifischen Größen und die jeweiligen Schichtdicken. Damit läßt sich bei einem vorgegebenen Produkt Z mittels Gleichung (5) und  
30 Gleichung (1) bei der Wahl von z. B.  $d_1$ , die Dicke des Schmelzmetalls  $d_2$  und die Dicke des Referenzsubstrats  $d_4$  am Randbereich berechnen. Hier ist zur Vereinfachung  $d_3 = 0$  angenommen. Vorteilhaft kann jedoch auch  $d_3 = d_1$  gewählt werden, insbesondere bei  $c_1 = c_3$ . Ist z. B.  $d_1 = 1$

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren von Temperaturmessungen,  
die mit wenigstens einem ersten Strahlungsdetektor  
5 (6) zum Messen einer von wenigstens einem Substrat  
(2) abgegebenen Wärmestrahlung vorgenommen werden,  
gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:  
a) Erwärmen eines wenigstens ein Referenzmaterial  
(17) mit bekannter Schmelzpunkttemperatur tragen-  
10 den Referenzsubstrats (10) auf und/oder über die  
Schmelzpunkttemperatur;  
b) Messen der Wärmestrahlung des Referenzsubstrats  
(10) während der Erwärmung und/oder einer der Er-  
wärmung folgenden Abkühlung; und  
15 c) In-Beziehung-Setzen eines während des Messvor-  
gangs auftretenden Messwertplateaus mit der be-  
kannten Schmelzpunkttemperatur.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
20 daß zur Erwärmung des Referenzsubstrats (10) wenig-  
stens eine Strahlungsquelle (4,5) verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Temperaturmessung emissivitäts-  
25 unabhängig ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß die von der wenigstens  
einen Strahlungsquelle (5) abgegebene Strahlung mit  
30 wenigstens einem zweiten Strahlungsdetektor (7) er-  
mittelt wird, daß die von der wenigstens einen  
Strahlungsquelle (5) abgegebene Strahlung mit wenig-  
stens einem charakteristischen Parameter moduliert  
wird, und daß die von dem ersten Strahlungsdetektor  
35 (6) ermittelte Strahlung zum Kompensieren der von

Strahlungsdetektor (7) ermittelte Strahlung korrigiert wird.

- 5 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Modulation zur Charakterisierung der von der Strahlungsquelle (5) abgegebenen Strahlung, bei der Korrektur der vom ersten Strahlungsdetektor (6) ermittelten Strahlung herangezogen wird.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Strahlungsquelle (5) abgegebene Strahlung amplituden-, frequenz- und oder phasenmoduliert wird.
- 15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquelle (5) durch mehrere Lampen gebildet wird, und daß die Strahlung von wenigstens einer der Lampen moduliert wird.
- 20 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Modulationsgrad oder die Modulationstiefe der Strahlung gesteuert wird.
- 25 9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der vom Referenzsubstrat (10) abgegebenen Wärmestrahlung auf der Seite des Referenzsubstrats (10) vorgenommen wird, die zu einem Hohlraumstrahler weist.
- 30 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Referenzmaterialien (17) mit jeweils unterschiedlichen Schmelzpunkttemperaturen auf dem Referenzsubstrat (10) vorgesehen sind, und daß die jeweiligen während der Erwärmung und/oder Abkühlung ermittelte Messwertplateaus jeweils mit einer der bekannten Schmelzpunkttemperaturen in Beziehung gesetzt werden.
- 35

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzsubstrat zur Kalibrierung einer Vorrichtung zum thermischen Be-
- 5 handeln von Substraten in diese eingebracht wird.
12. Vorrichtung zum Kalibrieren von im wesentlichen emissivitätsunabhängigen Temperaturmessungen, die mit wenigstens einem ersten Strahlungsdetektor (6) zum Messen der von wenigstens einem Substrat (2)
- 10 emittierten Wärmestrahlung vorgenommen werden, gekennzeichnet durch wenigstens ein Referenzmaterial (17) mit bekannter Schmelzpunkttemperatur, das an einem Referenzsubstrat (10) angebracht ist; wenig-
- 15 stens eine Strahlungsquelle (4,5) zum erwärmen des Referenzsubstrats (10); wenigstens einen zweiten Strahlungsdetektor (7) zur Messung der von der wenigstens einen Strahlungsquelle (5) abgegebenen Strahlung;
- 20 eine Modulationseinrichtung zur Modulation der von der wenigstens einen Strahlungsquelle (5) abgegebenen Strahlung mit wenigstens einem charakteristischen Parameter; und
- eine Einrichtung zum Korrigieren der vom ersten Strahlungsdetektor (6) ermittelten Strahlung anhand
- 25 der vom zweiten Strahlungsdetektor (7) ermittelten Strahlung.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet das die Strahlungsquelle (4,5) durch mehrere Lampen
- 30 gebildet wird, und daß die Strahlung wenigstens einer der Lampen modulierbar ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Modulationsgrad oder
- 35 die Modulationstiefe der von der Strahlungsquelle (4,5) abgegebenen Strahlung steuerbar ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, gekennzeichnet durch einen Hohlraumstrahler, der wenigstens teilweise durch das Substrat gebildet ist.
- 5 16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlraumstrahler durch eine verspiegelte Kammer gebildet wird, bei der wenigstens ein Wandbereich durch das Substrat gebildet wird.
- 10 17. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Hohlraumstrahler in einem Zwischenraum zwischen dem Substrat und einer parallel dazu angeordneten Platte gebildet wird.
- 15 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, gekennzeichnet durch eine über dem Referenzmaterial (17) befindliche Abdeckung (20) am Referenzsubstrat (10).
- 20 19. Vorrichtung nach Anspruch 18, gekennzeichnet durch eine zwischen der Abdeckung (20) und dem Referenzsubstrat (10) definierte Kammer (23).
- 25 20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (23) gegenüber der Umgebung abgedichtet ist.
- 30 21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Kammer (23) evakuiert ist.
- 35 22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzsubstrat (10) verglast ist.
23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzsubstrat (10)

wenigstens eine Vertiefung (15) zur Aufnahme des wenigstens einen Referenzmaterials (17) aufweist.

- 5 24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Wände der Vertiefungen (15) abgeschrägt sind.
- 10 25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzsubstrat (10) die gleiche Größe und/oder Form und/oder das gleiche Gewicht besitzt, wie das Substrat (2), dessen Temperatur nach der Kalibrierung gemessen werden soll.
- 15 26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß das wenigstens eine Referenzmaterial (17) ein Metall, insbesondere ein hochreines Metall, ist.
- 20 27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß am Referenzsubstrat (10) unterschiedliche Referenzmaterialien (17) mit unterschiedlichen Schmelzpunkttemperaturen vorgesehen sind.
- 25 28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Referenzmaterial (17) an unterschiedlichen Stellen auf dem Referenzsubstrat (10) angeordnet ist.
- 30 29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Referenzmaterial (17) auf einer dem ersten Strahlungsdetektor (6) abgewandten Seite des Referenzsubstrats (10) angebracht ist.
- 35 30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß eine dem ersten Strah-

lungsdetektor (6) zugewandte Seite des Referenzsubstrats (10) Strukturen, insbesondere Mikrokanäle, aufweist.

- 5 31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 30, gekennzeichnet durch eine Vielzahl von Referenzsubstraten (10) mit jeweils unterschiedlichen optischen Schichten.
- 10 32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzsubstrat (10) aus einem keramischen Werkstoff gefertigt ist.
- 15 33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 32, dadurch gekennzeichnet, das die Vorrichtung zur Kalibrierung einer Vorrichtung zur schnellen thermischen Behandlung von Substraten in einem Ofen, geeignet ist.
- 20 34. Referenzsubstrat zur Temperatur-Kalibration mit wenigstens einem Referenzmaterial bekannter Schmelzpunkttemperatur, angeordnet im Inneren des Referenzsubstrats, wobei das Referenzmaterial wenigstens 1% der Masse des Referenzsubstrats beträgt.
- 25 35. Referenzsubstrat nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzmaterial durch ein Substratmaterial der Dicke von wenigstens drei optischen Abschwächungslängen einer ausgewählten Wellenlänge umgeben ist.
- 30 36. Referenzsubstrat nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke wenigstens 3µm beträgt.
- 35 37. Referenzsubstrat nach einem der Ansprüche 34 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die thermische Masse pro

Flächeneinheit über das Substrat hinweg konstant  
ist.

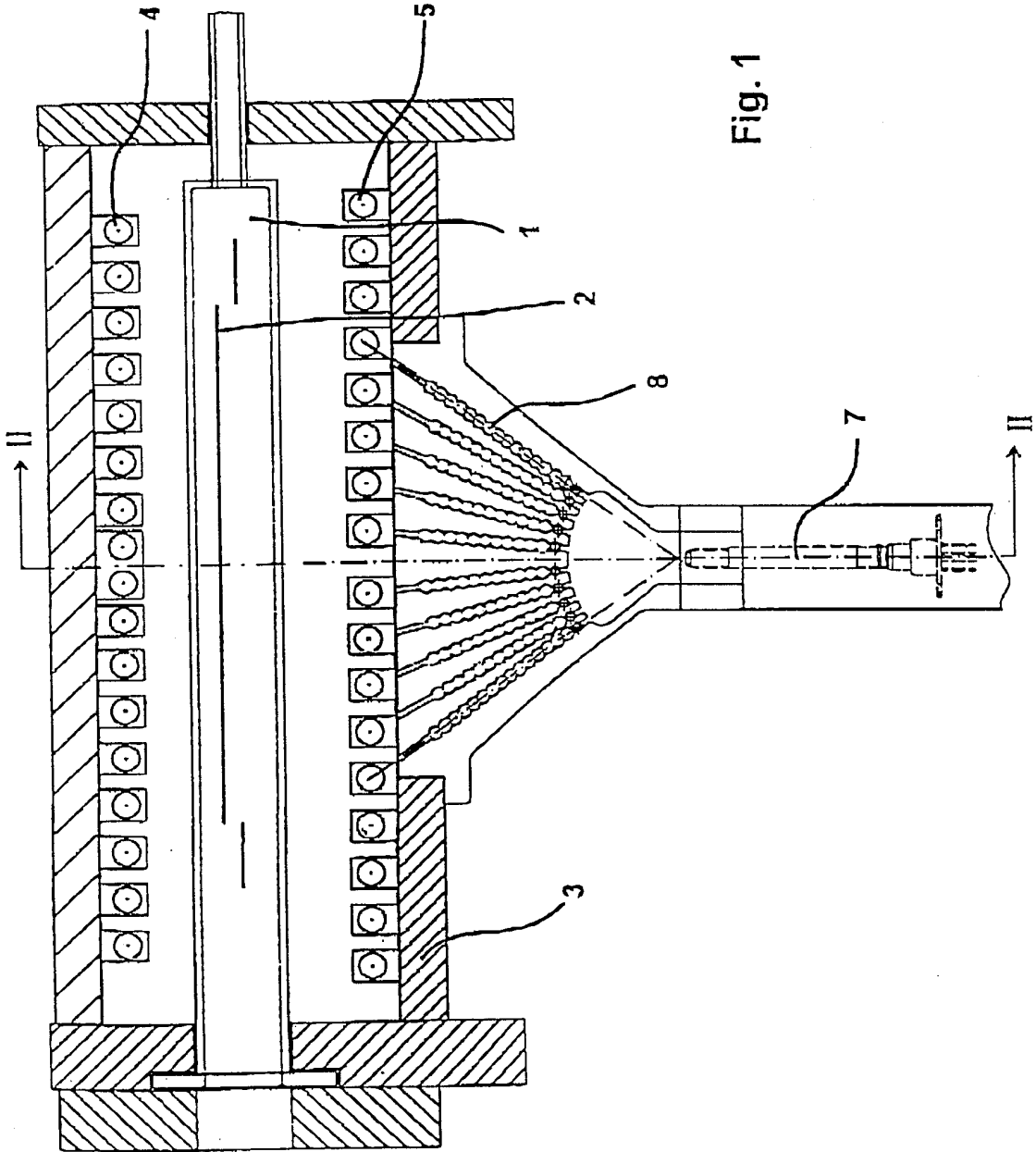


Fig. 1

2/4

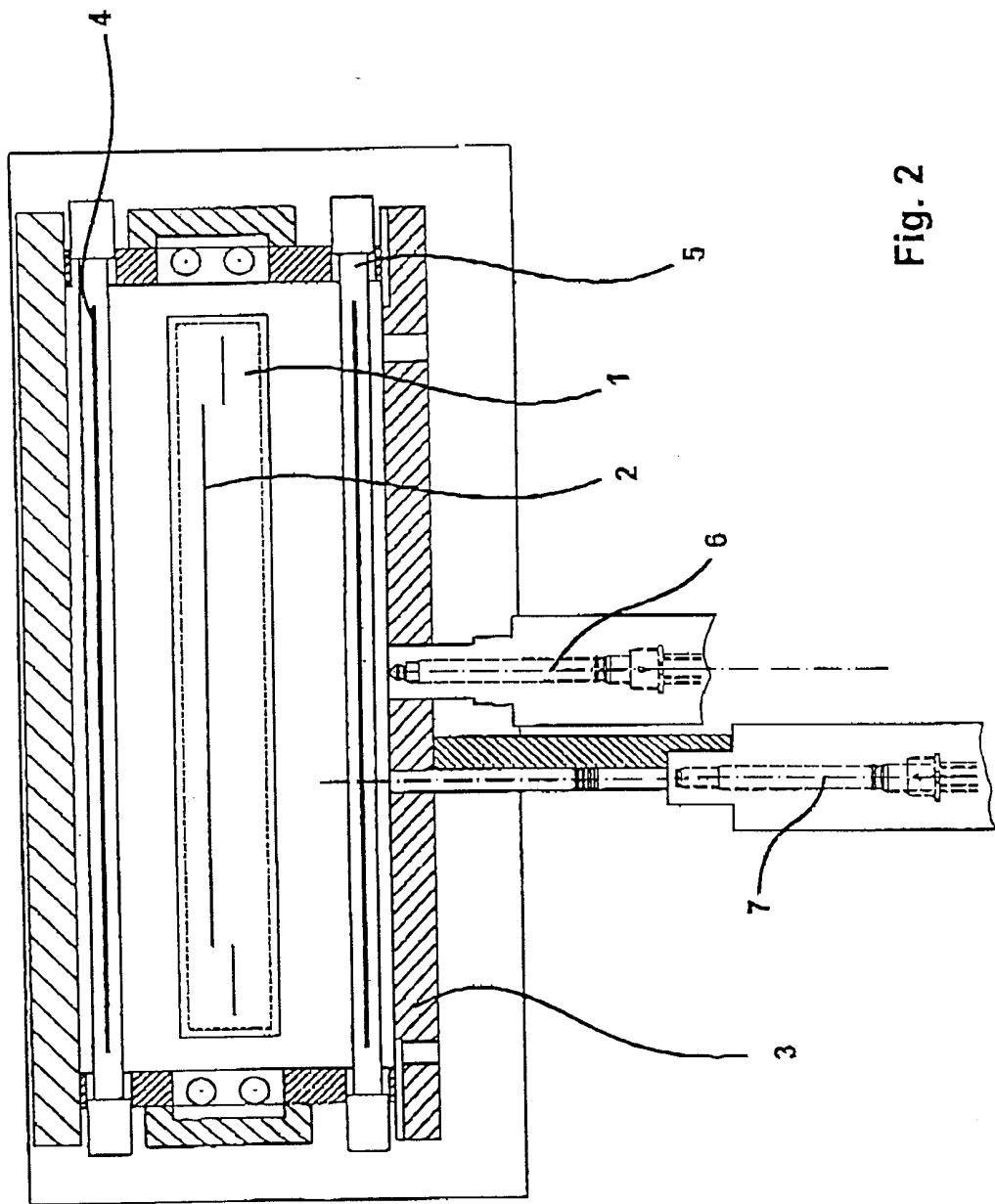


Fig. 2

Fig. 5

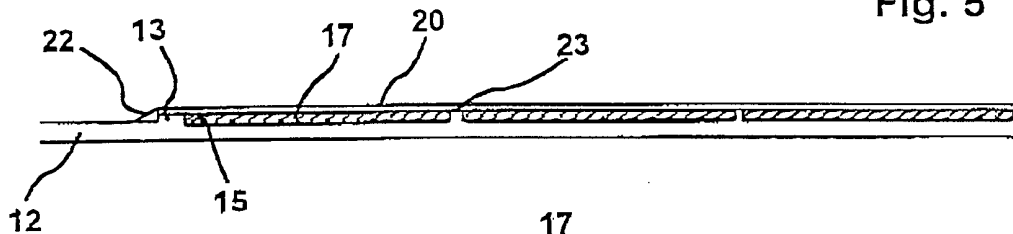


Fig. 4

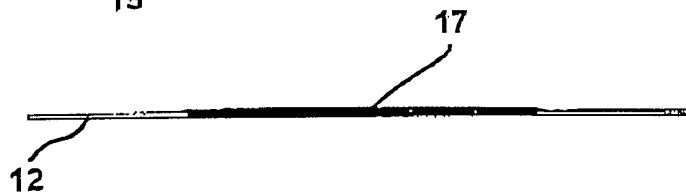


Fig. 3

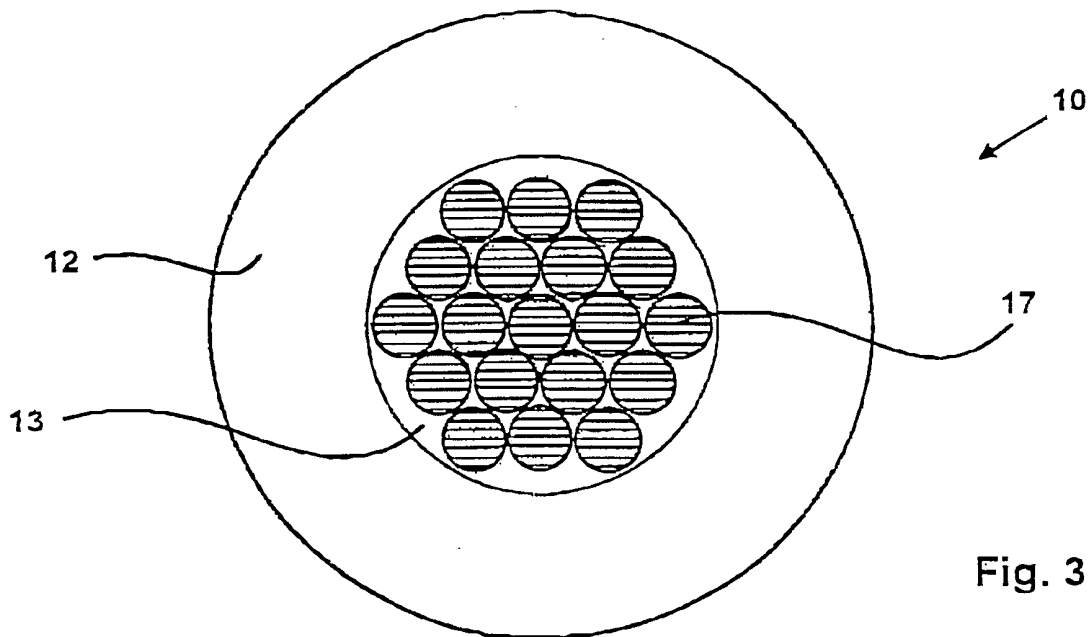


Fig. 6

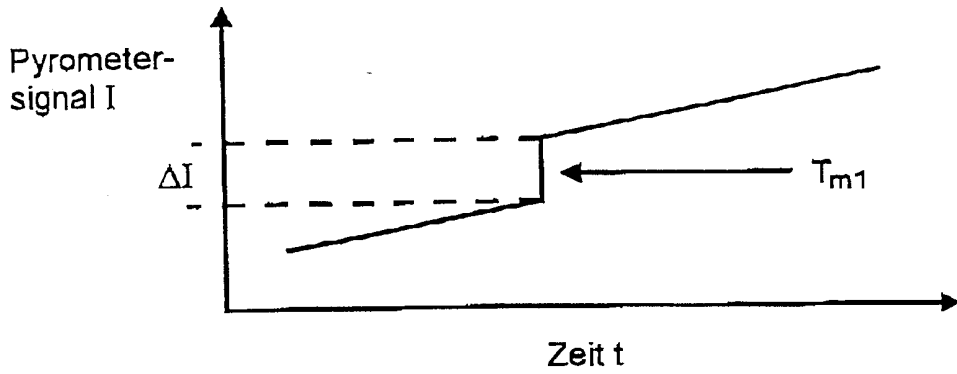


Fig. 7

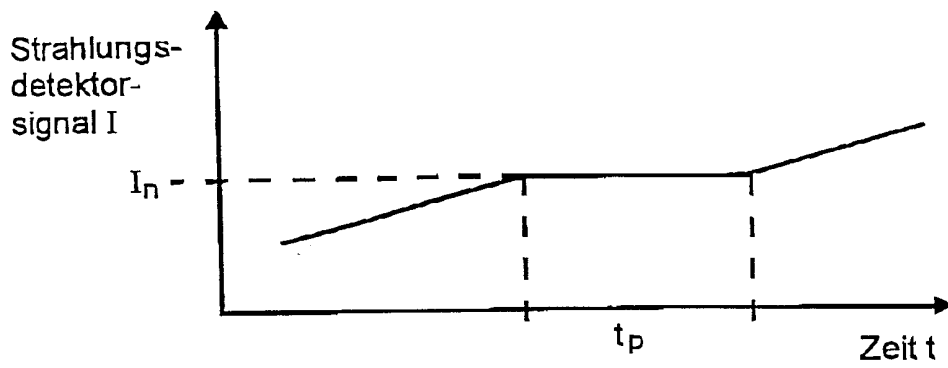
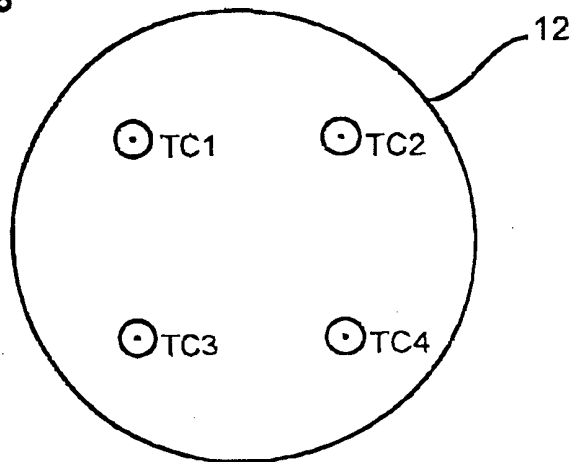


Fig. 8



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/05396

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G01J5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01J G01K C23C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	<p>US 5 553 939 A (DILHAC JEAN-MARIE ET AL) 10 September 1996 (1996-09-10) column 1, line 51 -column 2, line 4</p> <p>column 2, line 25 - line 30 column 3, line 26 - line 31 column 3, line 66 -column 4, line 35 column 5, line 1 - line 9 figure 1</p> <p style="text-align: center;">— — — — — -7-</p>	<p>1,2,11, 34-37 3-8,10, 12-14, 18-20, 25,26, 28,29,33</p>

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 November 1999

Date of mailing of the international search report

30/11/1999

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jacquin, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/05396

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>EP 0 539 984 A (TEXAS INSTRUMENTS INC)                      5 May 1993 (1993-05-05)</p> <p>column 2, line 13 - line 31                      column 4, line 15 -column 5, line 4                      column 5, line 45 -column 9, line 13</p>	<p>3-8,                      12-14,                      18-20,                      25,26,                      28,29,33</p>
Y	<p>US 5 265 957 A (MOSLEHI MEHRDAD M ET AL)                      30 November 1993 (1993-11-30)                      cited in the application</p>	<p>10</p>
A	<p>column 3, line 58 -column 4, line 34</p>	<p>27</p>
A	<p>US 5 624 590 A (FIORY ANTHONY T)                      29 April 1997 (1997-04-29)                      column 2, line 30 -column 5, line 45</p>	<p>1-37</p>

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/05396

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5553939      A	10-09-1996	LU 87933 A	15-12-1992
		DE 69200926 D	26-01-1995
		EP 0582645 A	16-02-1994
		JP 6509638 T	27-10-1994
		AT 115721 T	15-12-1994
		CA 2108571 A	03-11-1992
		WO 9219943 A	12-11-1992
		IE 72191 B	26-03-1997
		PT 100448 A	29-04-1994
		EP 0539984      A	05-05-1993
JP 5264356 A	12-10-1993		
US 5265957      A	30-11-1993	DE 69314876 D	04-12-1997
		DE 69314876 T	12-03-1998
		EP 0583007 A	16-02-1994
		JP 6224206 A	12-08-1994
		US 5326170 A	05-07-1994
US 5624590      A	29-04-1997	US 5442727 A	15-08-1995
		US 5305416 A	19-04-1994
		JP 8285692 A	01-11-1996
		DE 69419801 D	09-09-1999
		EP 0618430 A	05-10-1994
		JP 2912157 B	28-06-1999
		JP 6323915 A	25-11-1995

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Abzeichen

PCT/EP 99/05396

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 G01J5/00

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

**B. RESEARCHIERTE GEBIETE**

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 G01J G01K C23C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y	US 5 553 939 A (DILHAC JEAN-MARIE ET AL) 10. September 1996 (1996-09-10) Spalte 1, Zeile 51 - Spalte 2, Zeile 4  Spalte 2, Zeile 25 - Zeile 30 Spalte 3, Zeile 26 - Zeile 31 Spalte 3, Zeile 66 - Spalte 4, Zeile 35 Spalte 5, Zeile 1 - Zeile 9 Abbildung 1  --- -/-	1,2,11, 34-37 3-8,10, 12-14, 18-20, 25,26, 28,29,33

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. November 1999

Abmeldedatum des internationalen Recherchenberichts

30/11/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jacquin, J

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/05396

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 539 984 A (TEXAS INSTRUMENTS INC) 5. Mai 1993 (1993-05-05)  Spalte 2, Zeile 13 - Zeile 31 Spalte 4, Zeile 15 - Spalte 5, Zeile 4 Spalte 5, Zeile 45 - Spalte 9, Zeile 13	3-8, 12-14, 18-20, 25,26, 28,29,33
Y	US 5 265 957 A (MOSLEHI MEHRDAD M ET AL) 30. November 1993 (1993-11-30) in der Anmeldung erwähnt	10
A	Spalte 3, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 34	27
A	US 5 624 590 A (FIORY ANTHONY T) 29. April 1997 (1997-04-29) Spalte 2, Zeile 30 - Spalte 5, Zeile 45	1-37

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/05396

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5553939 A	10-09-1996	LU 87933 A	15-12-1992
		DE 69200926 D	26-01-1995
		EP 0582645 A	16-02-1994
		JP 6509638 T	27-10-1994
		AT 115721 T	15-12-1994
		CA 2108571 A	03-11-1992
		WO 9219943 A	12-11-1992
		IE 72191 B	26-03-1997
		PT 100448 A	29-04-1994
		EP 0539984 A	05-05-1993
JP 5264356 A	12-10-1993		
US 5265957 A	30-11-1993	DE 69314876 D	04-12-1997
		DE 69314876 T	12-03-1998
		EP 0583007 A	16-02-1994
		JP 6224206 A	12-08-1994
		US 5326170 A	05-07-1994
US 5624590 A	29-04-1997	US 5442727 A	15-08-1995
		US 5305416 A	19-04-1994
		JP 8285692 A	01-11-1996
		DE 69419801 D	09-09-1999
		EP 0618430 A	05-10-1994
		JP 2912157 B	28-06-1999
		JP 6323915 A	25-11-1995