



(10) **DE 10 2015 100 908 A1** 2016.07.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 100 908.0**

(22) Anmeldetag: **22.01.2015**

(43) Offenlegungstag: **28.07.2016**

(51) Int Cl.: **C23C 14/56 (2006.01)**
G01J 5/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
VON ARDENNE GmbH, 01324 Dresden, DE

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Lippert, Stachow & Partner, 01309
Dresden, DE**

(72) Erfinder:
**Meyer, Thomas, Dr., 01159 Dresden, DE; von
der Waybrink, Hubertus, 01326 Dresden, DE;
Mosshammer, Steffen, 01734 Rabenau, DE**

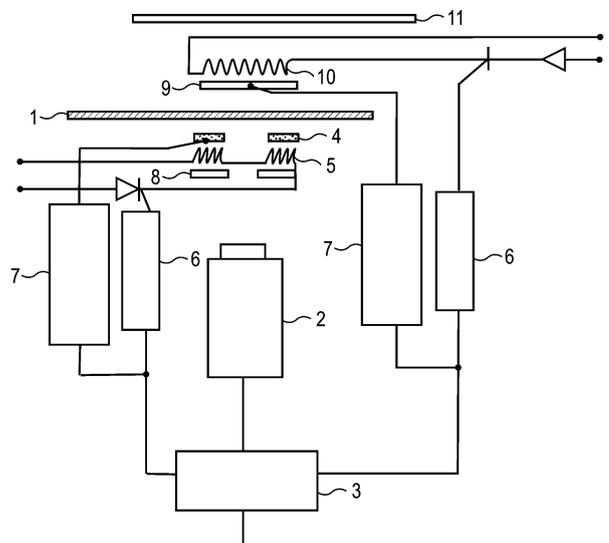
(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 34 22 590 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Temperaturmessung eines Substrats**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Temperaturmessung eines Substrats in einer Behandlungskammer, indem die Temperatur des Substrats an einer Messstelle mittels eines Pyrometers ermittelt wird. Zum Gewährleisten einer genauen Temperaturmessung unabhängig vom Zustand des Substrats wird erfindungsgemäß eine Substratumgebung, die alle Oberflächen von Bauteilen umfasst, welche einer Messstellenumgebung direkt gegenüberliegen und eine Projektion auf die Messstellenumgebung aufweisen, auf einen vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt, wobei die Messstellenumgebung eine die Messstelle umgebende Teilfläche der Substratoberfläche darstellt, und am Pyrometer ein Emissionsgrad von 1,0 unabhängig vom Emissionsgrad des Substrats eingestellt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturmessung eines Substrats in einer Behandlungskammer, indem die Temperatur des Substrats an einer Messstelle mittels eines Pyrometers ermittelt wird.

[0002] Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Temperaturmessung eines Substrats in einer Behandlungskammer, umfassend ein Pyrometer zur Erfassung der von einer Messstelle des Substrats ausgesandten Wärmestrahlung und daraus Ermittlung der Temperatur der Messstelle.

[0003] Pyrometer sind Strahlungsthermometer, die der berührungslosen Temperaturmessung von Objekten verschiedenster Art dienen. Beispielsweise liegen die Objekte auf einer Objektaufnahme auf. Somit wird es möglich, Pyrometer relativ zu dieser Objektaufnahme ortsfest anzuordnen. Somit kann jedes Mal, wenn sich ein Objekt auf der Objektaufnahme befindet die Temperatur desselben gemessen werden. Die berührungslose Messung empfiehlt sich insbesondere dort wo eine direkte Temperaturmessung nicht möglich ist, beispielsweise bei sehr hohen Temperaturen des Objektes, unter besonderen Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise im Vakuum oder an schwer zugänglichen Stellen, oder bei bewegten Objekten.

[0004] Ein spezieller Einsatzfall ist in der Temperaturmessung bei Vakuumbehandlungsanlagen zu sehen, in denen die Objekte die zu behandelnden, beispielsweise zu beschichteten Substrate sind.

[0005] Es ist bekannt, derartige Substrate in Vakuumbehandlungsanlagen zu bearbeiten. Insbesondere können die Substrate in Substratbehandlungsanlagen mit einer Beschichtung versehen werden. Diese Substratbehandlungsanlagen können beispielsweise nach einem Inline-Verfahren arbeiten, bei dem die Substrate ständig von Umgebungsatmosphäre eingebracht und wieder aus der Vakuumbehandlungsanlage in die Umgebungsatmosphäre ausgebracht werden.

[0006] Es ist weiterhin bekannt, flächenförmige Substrate, wie beispielsweise Glasscheiben, einer Inline-Vakuumbehandlung zu unterziehen.

[0007] Abhängig von der jeweiligen Behandlungsart, kann es notwendig werden, die Substrate einer Wärmebehandlung zu unterziehen. So können die Substrate beispielsweise beheizt werden, um in dem Substratgefüge Veränderungen vorzunehmen. Die Substrate können aber auch beispielsweise beheizt werden, um eine Beschichtung unter höherem Temperatureinfluss vorzunehmen.

[0008] Für eine derartige Wärmebehandlung ist es üblich, die Substrate entweder durch den Behandlungsprozess selbst auf eine höhere Temperatur zu bringen, oder aber auch zusätzlich oder ausschließlich zu beheizen. In jedem Falle ist es für eine kontrollierte Prozessführung unerlässlich, die Temperatur des Substrats zu ermitteln. Diese Ermittlung kann einerseits geschehen, um die Beschichtungsparameter zu kontrollieren. Diese Temperaturmessung kann aber auch benutzt werden, um die Einbringung der Wärmeenergie zu regeln, insbesondere etwaige Heizeinrichtungen zu regeln.

[0009] Die in einer Vakuumbehandlungsanlage eingebauten Heizer haben die Aufgabe, Solltemperaturprofile auf dem Substrat einzustellen. Stabile Substrattemperaturen sind dabei gewünscht, damit beispielsweise Schichten mit optimalen Eigenschaften abgeschieden werden können. Eine Kontrolle der Substrattemperaturen ist dabei zum Beispiel durch die Verwendung von einem oder mehreren Pyrometern üblich.

[0010] Die Pyrometer sind dabei oft an Flanschen an der Vakuumkammer befestigt und haben einen optischen Zugang an einer Stelle, wo die Substrate transportiert werden. Die Infrarot-Strahlung, die von den Substraten emittiert wird, gelangt über die Pyrometer-Optik auf einen optischen Sensor und ihre Intensität wird in einem engen Spektralbereich, der von dem Pyrometer-Typ abhängig ist, in ein elektrisches Signal umgewandelt. Das elektrische Signal kann dann im Rahmen des Anlagensteuerungskonzeptes genutzt werden, um die Heiz- und/oder Kühleinrichtungen anzusteuern um eine gewünschte Substrattemperatur in bestimmten Prozessabschnitten der Anlage während des Betriebs aufrechtzuerhalten.

[0011] Oft stellt man jedoch fest, dass die Optik der Pyrometer verschmutzt wird und dadurch eine falsche Temperatur gemessen wird, was zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Produktionsabläufe bis hin zum Ausfall von Komponenten und somit zu erheblichen zusätzlichen Kosten für die Instandhaltung und Wartung der Anlage führt. Das Problem der Verschmutzung ist in bestimmten Fällen auch nicht schnell detektierbar, da sie nur sehr langsam fortschreitet. Ein weiteres Problem ist das Ankratzen der oft relativ teuren Optik durch zufällig in die Optik fallende kleine Glaspartikeln, was insbesondere bei Glas-Beschichtungsanlagen nicht im-

mer sicher vermieden werden kann. Durch die Kratzer der Optik verändert sich der Anteil der in die Pyrometer gelangten IR-Strahlung. Dadurch wird die Temperatur ebenfalls falsch gemessen.

[0012] In seltenen Fällen wird der optische Zugang des Pyrometers im Betrieb der Vakuumanlagen beeinträchtigt, indem der optische Zugang nicht mehr zu 100% gewährleistet wird. Das kann passieren, da die Vakuumkammer bei Evakuierung eine gewisse Deformation erfährt und dadurch die Orientierung des Pyrometer-Flansches sich leicht verändert.

[0013] Pyrometer sind bei horizontalen Vakuumbehandlungsanlagen, in denen die Substratoberseite beschichtet wird, meist an der Anlagenunterseite angeordnet, da die Emissionseigenschaften der unbeschichteten Substratunterseite sehr genau bekannt sind. Insbesondere wird dies dann deutlich, wenn als Behandlungssubstrate Glassubstrate zum Einsatz gelangen. Zur Herstellung einer ausreichenden Messgenauigkeit sind die eingesetzten Pyrometer mit einer Einstellmöglichkeit für den Emissionsgrad ϵ der Messstelle auf dem Substrat, auf die das Pyrometer mit seiner Messrichtung gerichtet ist, einstellbar. Durch die Anordnung eines Pyrometers an der Anlagenunterseite, mit der die Emissionseigenschaften der unbeschichteten Substratunterseite, insbesondere der Glasunterseite gemessen werden, sind deren Emissionseigenschaften sehr genau bekannt und damit auch die Einstellung des Emissionsgrades am Pyrometer sehr einfach. Zum Beispiel beträgt der Emissionsgrad ϵ für Glas 0,96, wenn die Messwellenlänge des Pyrometers 7,8 bis 8,2 μm beträgt.

[0014] Neben dem Vorteil des Temperaturmessens über Pyrometer bei einem bekannten Emissionsgrad an der Substratunterseite bringt jedoch die Anordnung der Pyrometer unter den Substraten oder besser gesagt unter der Lage der Substrate oder Substratlage Nachteile mit sich. So kann der Messweg des Pyrometers beeinträchtigt werden und zwar beispielsweise bei staubigen Prozessen durch Ablagerungen von Schichtmaterialien oder Flitter auf den Schutzscheiben des Pyrometers oder beim Bruch von Substraten, insbesondere von Glassubstraten, wobei hier der Messweg vollständig verstellt werden kann. In beiden Fällen liefert ein Pyrometer keine zuverlässigen Messwerte mehr, so dass eine Kontrolle der Substrattemperatur oder eine Regelung der Heizer nicht mehr zuverlässig möglich ist, worunter die Qualität der abgeschiedenen Schichten leiden kann.

[0015] Für eine zuverlässige Temperaturmessung ist beispielsweise aus der WO 2009/044303 A2 ein Kalibriersubstrat zum Kalibrieren eines Pyrometers bekannt, mit dem die Transmissionseigenschaften des Substrats ermittelt werden, die für eine Kalibrierung des Pyrometers verwendet werden können.

[0016] Aus der DE 10 2012 201 061 A1 ist ein Verfahren zur Kalibrierung eines Pyrometers bekannt, indem die Temperatur eines Objekts mittels eines Pyrometers ermittelt wird. Dabei wird vom Pyrometer aus gesehen hinter der Objektaufnahme ein Referenzstrahler verwendet, der als eine als schwarzer Strahler wirkende beheizte Referenz ausgeführt wird, wobei die Messung der Referenztemperatur zu einem Zeitpunkt einer objektfreien Sichtverbindung zwischen Pyrometer und beheizter Referenz vorgenommen wird und in Zeitabständen über den Referenzstrahler ein Kalibrierwert ermittelt wird. Somit kann das Pyrometer in Zeitabständen neu kalibriert werden.

[0017] Aus der DE 10 2012 201 054 A1 ist ein Verfahren zur Überprüfung der Anzeigegenauigkeit eines Pyrometers bekannt, indem ein Temperaturmesskopf mit einer wärmeabsorbierenden Fläche verwendet wird, die dem Substrat in räumlicher Nähe zu einer Messstelle des Substrats beabstandet gegenüberliegt. Dabei wird die Temperatur der wärmeabsorbierenden Fläche gemessen, die die vom Substrat ausgesandete Wärmestrahlung absorbiert. Diese gemessene Temperatur der wärmeabsorbierenden Fläche wird mit dem aktuellen vom Pyrometer gemessenen Temperaturwert verglichen und daraus eine Temperaturdifferenz abgeleitet. Abhängig von der Temperaturdifferenz wird der Temperaturwert des Pyrometers entweder weiter verwendet oder aber verworfen. Ebenso kann der voreingestellte Emissionsgrad am Pyrometer jeweils in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz korrigiert werden.

[0018] In Fig. 1 ist eine vereinfachte Anordnung zur Temperaturmessung eines Substrats mittels eines Pyrometers nach dem Stand der Technik dargestellt. Das Substrat **1** ist im Messwellenlängenbereich nicht transparent. Vom Pyrometer **2** aus gesehen vor dem Substrat **1** befindet sich eine vorderseitige Substratumgebung **4** mit beliebiger Temperatur, die hier als Platte dargestellt ist. Die Substratumgebung **4** wird typischerweise hochreflektierend ausgeführt, d.h. nahezu keine Eigenemission ($\epsilon_{\text{Umgebung}} \rightarrow 0$). Die vom Substrat **1** emittierte Wärmestrahlung kann auf direktem Weg zum Pyrometer **2** gelangen oder auf indirektem Weg erst zur Substratumgebung **4** gelangen, an der die Wärmestrahlung reflektiert wird, und dann wieder zum Pyrometer **2** gelangen. Somit kann die Temperatur des Substrats **1** auch mit kleinem Emissionsgrad oder geringer Temperatur sicher bestimmt werden, da das Messsignal durch reflektierten Anteil verstärkt wird. Hierbei kann am Pyrometer ein

Emissionsgrad von 1,0 eingestellt werden und somit ist eine exakte Kenntnis vom Emissionsgrad des Substrats nicht nötig. Eine solche hochreflektierende Substratumgebung ist beispielsweise in US 6 345 909 B1 offenbart.

[0019] Diesem Vorteil steht jedoch ein Nachteil entgegen, dass Verschmutzung der Substratumgebung, beispielsweise Abdampfen von Schichtbestandteilen bei Beschichtungsprozessen oder Vakuumprozessen, dazu führt, dass kalte Substratumgebung höheren Strahlungsanteil absorbiert bzw. warme Substratumgebung höheren Strahlungsanteil in Richtung Pyrometer emittiert und das Messsignal und damit die Temperaturmessung verfälscht.

[0020] Da die Substratumgebung in Beschichtungsanlagen meist mehr oder weniger verschmutzt werden und der Verschmutzungszustand sich auch über die Zeit ändern kann, wird es nicht möglich sein, die Emissionseigenschaften der Substratumgebung über die Zeit genau zu definieren. Damit ist eine sehr genaue pyrometrische Messung der Substrattemperatur schwer realisierbar.

[0021] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Temperaturmessung eines Substrats in einer Behandlungskammer anzugeben, indem unabhängig vom Zustand des Substrats sowie ohne exakte Kenntnis der Emissionseigenschaften des Substrats die Substrattemperatur mittels eines Pyrometers zuverlässig und genau ermittelt wird.

[0022] Des Weiteren soll es möglich sein, am Pyrometer einen Emissionsgrad von 1,0 einzustellen und die Temperatur von Substraten genau zu ermitteln, welche auch teiltransparent sein und/oder einen kleinen Emissionsgrad besitzen können.

[0023] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0024] Zur Temperaturmessung eines Substrats in einer Behandlungskammer, beispielsweise einer Vakuumkammer für Beschichtung oder Temperierung oder auch einer atmosphärischen Kammer, indem das Substrat in einer Substratlage aufliegt und mittels einer Transporteinrichtung bewegt wird, wird die Temperatur des Substrats an einer Messstelle mittels eines Pyrometers ermittelt. Hierbei ist die Substratlage eine Fläche, beispielsweise eine Fläche auf der Transporteinrichtung, in der das Substrat aufliegt und transportiert wird. Dabei kann die von der Messstelle ausgesandte Wärmestrahlung beispielsweise über ein Pyrometerrohr zum Pyrometer geleitet, dann mit dem Pyrometer erfasst und daraus die Temperatur der Messstelle ermittelt werden. Hierbei kann ein Pyrometermessweg durch Strahlengang von der Messstelle bis zum Pyrometer definiert werden, d.h. der Pyrometermessweg stellt die Strecke von der Messstelle zum Pyrometer dar.

[0025] Da das zu messende Substrat meist kein idealer schwarzer Körper ist, muss man üblicherweise für eine genaue Temperaturmessung den Emissionsgrad des Substrats sehr genau kennen und am Pyrometer entsprechend einstellen. Gegenüber diesem üblichen Messverfahren kann erfindungsgemäß am Pyrometer ein Emissionsgrad unabhängig vom Emissionsgrad des Substrats eingestellt werden, beispielsweise ein Emissionsgrad von größer 0,8, vorzugsweise größer 0,9, besonders bevorzugt von 1,0. Damit ist eine Kalibrierung des Pyrometers für eine zuverlässige und genaue Temperaturmessung nicht mehr nötig.

[0026] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann der Emissionsgrad am Pyrometer ohne exakte Kenntnis vom Emissionsgrad des Substrats eingestellt werden und die Messwellenlänge spielt dabei keine Rolle mehr. Somit können auch beliebige Pyrometer zur Temperaturmessung eingesetzt werden.

[0027] Dies kann erreicht werden durch eine erfindungsgemäße Substratumgebung, die auf einen vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt wird. Schließlich wird die Substratumgebung exakt den Temperaturwert des Substrats besitzen. Dabei umfasst die Substratumgebung alle Oberflächen von Bauteilen, welche einer Messstellenumgebung direkt gegenüberliegen und eine Projektion auf die Messstellenumgebung aufweisen, wobei die Messstellenumgebung eine die Messstelle umgebende Teilfläche der Substratoberfläche darstellt. Die Teilfläche kann die Messstelle vollständig umgeben oder umschließen, d.h. die Messstellenumgebung weist eine Fläche oder eine Teilfläche der Substratoberfläche auf, die die Messstelle umschließt. Alternativ kann die Teilfläche die Messstelle teilweise umgeben.

[0028] In diesem Fall, dass die Substratumgebung exakt den Temperaturwert des Substrats besitzt, ergibt sich aus der folgenden Formel, dass die vom Substrat ausgesandte Strahldichte \dot{q}_{as} nicht mehr vom Emissionsgrad des Substrats und der Substratumgebung abhängig ist. Mit anderen Worten ist die vom Pyrometer erfasste

Wärmestrahlung bzw. Strahldichte, die der vom Substrat ausgesandten Strahldichte \dot{q}_{as} entspricht, nicht mehr vom Emissionsgrad abhängig. Dadurch kann eine genaue Temperaturmessung ohne exakte Kenntnis vom Emissionsgrad des Substrats geliefert werden. Hierbei berechnet sich die vom Substrat ausgesandte Strahldichte \dot{q}_{as} mit Substrattemperatur T_s , Umgebungstemperatur T_u , Emissionsgrad des Substrats ϵ_s , Emissionsgrad der Substratumgebung ϵ_u und Stefan-Boltzmann-Konstante σ wie folgt:

$$\dot{q}_{as} = \frac{\sigma \epsilon_s T_s^4 + \sigma (1 - \epsilon_s) \epsilon_u T_u^4}{1 - (1 - \epsilon_s)(1 - \epsilon_u)} = \frac{\sigma \epsilon_s T_s^4 + \sigma (1 - \epsilon_s) \epsilon_u T_u^4}{1 - (1 - \epsilon_s)(1 - \epsilon_u)} = \sigma T_s^4$$

[0029] Wenn die Substrattemperatur T_s gleich der Umgebungstemperatur T_u ist, ist nach der Formel die vom Substrat ausgesandte Strahldichte \dot{q}_{as} nur von der Substrattemperatur T_s abhängig. Dies Strahlungsverhalten wird im Ausführungsbeispiel näher erläutert.

[0030] Typischerweise weist die Messstelle eine Fläche auf, die durch Strahlengang des Pyrometers definiert ist. Die Messstellenumgebung weist eine um die Messstelle umgebende Fläche auf, die der Projektion von der Substratumgebung entspricht. In der Praxis kann die von der Messstelle sowie der Messstellenumgebung ausgesandte Wärmestrahlung in den Pyrometermessweg gelangen. Aber auch unerwünschte Fremdstrahlung, die beispielsweise durch Reflexion am Substrat und an der Substratumgebung verursacht wird, kann in den Pyrometermessweg gelangen und die Messung stark verfälschen. Zum Verhindern dieser unerwünschten Fremdstrahlung und damit Erreichen einer hohen Messgenauigkeit soll die Größe der Messstellenumgebung durch den durchschnittlichen Abstand der Substratumgebung von der Substratoberfläche und einen angestrebten Messfehler bestimmt werden.

[0031] Vorteilhaft wird auch ein Bauteil, das den Pyrometermessweg direkt umgibt, auf den vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt. Beispielsweise bei Verwendung eines Pyrometerrohres, das Teil des Pyrometermesswegs darstellt, kann das Pyrometerrohr auch auf den aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt werden und den gleichen Temperaturwert besitzen. Damit wird die gesamte Umgebung vom Pyrometermessweg auf den ermittelten Temperaturwert geregelt.

[0032] Erfindungsgemäß wird die Substratumgebung mittels einer Heizeinrichtung auf den vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert beheizt. Dabei wird die Temperatur der Heizeinrichtung durch eine Regelungseinrichtung geregelt und die Temperatur der Substratumgebung mittels einer Messeinrichtung gemessen.

[0033] In einer Ausführungsform der Erfindung wird das Pyrometer mit einer Auswerteinrichtung verbunden, die mit der Regeleinrichtung und der Messeinrichtung miteinander verbunden wird. Somit kann die Temperatur der Substratumgebung in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen der gemessenen Temperatur der Substratumgebung und dem vom Pyrometer ermittelten Temperaturwert geregelt werden. Diese Regelung dient dazu, eine vorgegebene Temperatur (Temperatur der Substratumgebung) auf einen gewünschten Wert bzw. Sollwert (ermittelten Temperaturwert) zu bringen und möglichst konstant zu halten.

[0034] Im Falle, dass ein teiltransparentes Substrat in der Substratlage aufliegt und gemessen wird, wird vom Pyrometer aus gesehen hinter der Substratlage bzw. dem Substrat eine zweite Substratumgebung auf den vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt. Dadurch kann ein definiertes rückseitiges Strahlungsfeld eingestellt und undefinierte Einflüsse anderer Umgebungselemente können ausgeschlossen werden und es kann auch die durch das Substrat durchgelassene Strahlung mithilfe der zweiten Substratumgebung wieder zum Pyrometer gelangen. Die zweite Substratumgebung umfasst alle Oberflächen von Bauteilen, welche eine Projektion auf die Messstellenumgebung aufweisen. Die oben beschriebenen Ausführungsformen sowie Regelung sind auch für die zweite Substratumgebung anwendbar.

[0035] Zur Behandlung des Substrats wird das Substrat in die Behandlungskammer mittels der Transporteinrichtung transportiert, mit Prozessheizern beheizt und mit dem Pyrometer gemessen, sodass die Substrattemperatur schließlich auf die gewünschte Prozesstemperatur gebracht und gehalten werden kann. Dabei wird die Substratumgebung während der Temperaturmessung auf den vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert beheizt und anschließend auf den Temperaturwert gehalten. Dann zeigt das Pyrometer mit einem Emissionsgrad von 1,0 den exakten Substrattemperaturwert an. Typische Einschwingzeiten werden je nach Ausführungsform im Bereich von 5 bis 10 Minuten liegen. Im Fall von Inline-Anlagen mit kontinuierlichem Substrattransport wird je nach Taktzeit nach 5 bis 20 Substraten eine stabile, genaue Temperaturmessung möglich sein.

[0036] Alternativ kann die Substratumgebung auf die vermutete Substrattemperatur vorgeheizt werden. Anschließend wird das Substrat in die Behandlungskammer transportiert, beheizt und mit dem Pyrometer gemessen. Der weitere Ablauf ist ansonsten wie oben beschrieben. Das Einschwingen auf Substrattemperatur wird wesentlich schneller möglich sein.

[0037] Die vorrichtungsseitige Lösung der Aufgabestellung sieht vor, dass die Vorrichtung ein Pyrometer zur Erfassung der von einer Messstelle des Substrats ausgesandten Wärmestrahlung und eine Substratumgebung umfasst, die auf einen vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert regelbar ist, wobei die Substratumgebung alle Oberflächen von Bauteilen umfasst, welche einer Messstellenumgebung direkt gegenüberliegen und eine Projektion auf die Messstellenumgebung aufweisen, wobei die Messstellenumgebung eine die Messstelle umgebende Teilfläche der Substratoberfläche darstellt. Dabei ist am Pyrometer ein Emissionsgrad von 1,0 unabhängig vom Emissionsgrad des Substrats einzustellen.

[0038] Die Größe der Messstellenumgebung ist durch den durchschnittlichen Abstand der Substratumgebung von der Substratoberfläche und einen angestrebten Messfehler gegeben. Bevorzugt soll der Abstand 1/10 der durchschnittlichen lateralen Erstreckung der Messstellenumgebung nicht überschreiten. Beispielsweise bei Verwendung eines Pyrometerrohres, das auf die Messstelle gerichtet ist, soll der Abstand zwischen dem Pyrometerrohr und dem Substrat kleiner als 1/10 der Erstreckung der Messstellenumgebung sein, sodass unerwünschte Fremdstrahlung nicht in den Pyrometermessweg gelangen und die Messung nicht verfälschen kann. Beispielsweise bei einer kreisringförmigen Messstellenumgebung ist die Größe durch deren Durchmesser gegeben. Bei einer nicht kreisringförmigen Messstellenumgebung, beispielsweise oval-förmig, wird ein gleichwertiger Durchmesser für die Größe verwendet.

[0039] In einer Ausführungsform der Erfindung sind eine Heizeinrichtung und eine Messeinrichtung in räumlicher Nähe zur Substratumgebung vorgesehen. Dabei ist die Heizeinrichtung mit einer Regeleinrichtung verbunden, die weiterhin mit der Messeinrichtung verbunden ist.

[0040] Zur Regelung der Temperatur der Substratumgebung wird eine Auswerteinrichtung, die mit dem Pyrometer verbunden ist, mit der Regeleinrichtung sowie der Messeinrichtung miteinander verbunden, sodass die Temperatur der Substratumgebung auf den vom Pyrometer ermittelten Temperaturwert geregelt werden kann.

[0041] Vorteilhaft ist an der der Substratumgebung abgewandten Seite der Heizeinrichtung eine Wärmesenke vorgesehen, die zum Verbessern der Regelung dient.

[0042] Zur Messung eines teiltransparenten Substrats ist eine zweite Substratumgebung vorgesehen, die vom Pyrometer aus gesehen hinter der Substratlage angeordnet und deren Temperatur auf den vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert regelbar ist. Dabei umfasst die zweite Substratumgebung alle Oberflächen von Bauteilen, welche eine Projektion auf die Messstellenumgebung aufweisen.

[0043] Vorteilhaft ist die gesamte Umgebung vom Pyrometermessweg auf den ermittelten Temperaturwert regelbar. Somit kann auch ein Bauteil, beispielsweise ein Pyrometerrohr, das den Pyrometermessweg direkt umgibt, auf den vom Pyrometer aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt werden.

[0044] In einer Ausführungsform der Erfindung kann das Pyrometer mit einem Pyrometerrohr verbunden werden, das auf die Messstelle gerichtet ist. Dabei kann eine Strahlfläche als Substratumgebung, die um das Pyrometerrohr umlaufend ggf. mit dem Pyrometerrohr verbunden ist, auf den aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt werden.

[0045] Als Substratumgebung kann beispielsweise eine ebene Fläche oder auch ein Hüllrohr, welches den Pyrometerstrahl seitlich umschließt, verwendet werden. Typischerweise besteht die Substratumgebung aus nicht transparenten Materialien, die vernachlässigbar wenig Strahlung durchlassen und damit kann die Transmission mit 0 ersetzt werden.

[0046] Zum Verhindern der unerwünschten Fremdstrahlung, die in den Pyrometermessweg gelangen und die Messung verfälschen kann, wird vorzugsweise die Substratumgebung bzw. Strahlfläche mit einem hohen Absorptionsgrad von mindestens 0,8 versehen, sodass einfallende Fremdstrahlung absorbiert wird und ausschließlich Strahlung vom Substrat und der Strahlfläche in den Pyrometermessweg gelangt. Bei hochabsorbierenden Substraten darf die Substratumgebung auch einen kleineren Emissionsgrad besitzen.

[0047] Typischerweise ist das Pyrometer bei horizontalen Behandlungskammern außerhalb der Behandlungskammer an der Unterseite der Behandlungskammer angeordnet und mit einem Pyrometerrohr verbunden. Das Pyrometerrohr ist durch eine Öffnung in einer Kammerwandung diese Kammerwandung durchdringend mit dieser Kammerwandung verbunden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist aber auch anwendbar für die Anordnung des Pyrometers an der Oberseite der Behandlungskammer da die Temperaturmessung vom Zustand des Substrats unabhängig ist.

[0048] Die Erfindung soll nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

[0049] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Temperaturmessung eines Substrats nach dem Stand der Technik,

[0050] Fig. 2 eine vereinfachte Darstellung eines Strahlungsverhalten zwischen Pyrometer und Substrat;

[0051] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

[0052] Fig. 4 eine schematische Darstellung einer alternativen erfindungsgemäßen Vorrichtung,

[0053] Fig. 5a, b eine vereinfachte Darstellung eines erfindungsgemäßen Pyrometerrohres,

[0054] Fig. 5c, Fig. 5d eine Draufsicht des Substrats ausgehen vom Pyrometer gemäß der Fig. 5a, Fig. 5b,

[0055] Fig. 6a ein Pyrometerrohr gemäß der Fig. 5a, und

[0056] Fig. 6b eine Darstellung des Zusammenhangs zwischen Geometrie und Messfehler.

[0057] Wie in Fig. 2 dargestellt, wird ein Substrat **1** zur Behandlung beheizt und besitzt schließlich eine Temperatur T_s und emittiert gemäß Stefan-Boltzmann-Gesetz Wärmestrahlung. Zur Temperaturmessung des Substrats **1** wird ein Pyrometer **2** verwendet, das auf das Substrat **1** gerichtet ist. In räumlicher Nähe zum Substrat **1** befindet sich eine Substratumgebung **4**, die als Platte parallel zum Substrat **1** dargestellt ist und eine Temperatur T_u besitzt. Da die Temperatur des Pyrometers **2** deutlich kleiner als die vom Substrat **1** oder von der Substratumgebung **4** ist, ist die vom Pyrometer **2** ausgesandte Strahldichte \dot{q}_{ap} vernachlässigbar.

[0058] Die vom Substrat ausgesandete Strahldichte \dot{q}_{as} setzt sich zusammen aus den vom Substrat emittierten und am Substrat reflektierten Strahlungsanteilen und berechnet sich wie folgt:

$$\dot{q}_{as} = \sigma \epsilon_s T_s^4 + (1 - \epsilon_s) \dot{q}_{es}, \quad (1)$$

wobei σ für Stefan-Boltzmann-Konstante steht, ϵ_s für Emissionsgrad des Substrats und \dot{q}_{es} für die auf das Substrat einfallende Strahldichte. Analog zum Strahlungsverhalten am Substrat, setzt sich die von der Substratumgebung ausgesandte Strahldichte \dot{q}_{au} zusammen aus den von der Substratumgebung emittierten und an der Substratumgebung reflektierten Strahlungsanteilen und berechnet sich wie folgt:

$$\dot{q}_{au} = \sigma \epsilon_u T_u^4 + (1 - \epsilon_u) \dot{q}_{eu}, \quad (2)$$

wobei ϵ_u für Emissionsgrad der Substratumgebung steht und \dot{q}_{eu} für die auf die Substratumgebung einfallende Strahldichte. Weiterhin gelten bei planparalleler Anordnung vom Substrat und von der Substratumgebung die folgenden Formeln:

$$\dot{q}_{es} = \dot{q}_{au} \quad (3)$$

$$\dot{q}_{eu} = \dot{q}_{as}, \quad (4)$$

d.h. die von der Substratumgebung ausgesandte Strahldichte \dot{q}_{au} der auf das Substrat einfallenden Strahldichte \dot{q}_{es} entspricht und die vom Substrat ausgesandte Strahldichte \dot{q}_{as} der auf die Substratumgebung einfallenden Strahldichte \dot{q}_{eu} entspricht.

[0059] Durch die Zusammenstellung der Formeln (1) bis (4) gelten die folgenden Formeln:

$$\dot{q}_{as} = \sigma \epsilon_s T_s^4 + (1 - \epsilon_s) \dot{q}_{au} \quad (5)$$

$$\dot{q}_{au} = \sigma \epsilon_u T_u^4 + (1 - \epsilon_u) \dot{q}_{as} \quad (6)$$

, und können als Gleichungssystem wie folgt formuliert werden:

$$(7) \quad \begin{bmatrix} 1 & -(1 - \epsilon_s) \\ -(1 - \epsilon_u) & 1 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} \dot{q}_{as} \\ \dot{q}_{au} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma \epsilon_s T_s^4 \\ \sigma \epsilon_u T_u^4 \end{pmatrix}$$

[0060] Die vom Substrat ausgesendete Strahldichte \dot{q}_{as} ergibt sich aus der Lösung des Gleichungssystems und es gilt:

$$(8) \quad \dot{q}_{as} = \frac{\sigma \epsilon_s T_s^4 + \sigma (1 - \epsilon_s) \epsilon_u T_u^4}{1 - (1 - \epsilon_s)(1 - \epsilon_u)}$$

[0061] Die vom Substrat ausgesendete Strahldichte \dot{q}_{as} gelangt zum Pyrometer und entspricht der auf das Pyrometer einfallenden Strahldichte \dot{q}_{ep} bzw. die vom Pyrometer erfasste Strahldichte.

[0062] In erstem Fall, dass die Substratumgebung hochreflektierend mit einem Emissionsgrad ϵ_u von 0 ausgeführt ist, ergibt sich die vom Substrat ausgesendete Strahldichte \dot{q}_{as} wie folgt:

$$(9) \quad \dot{q}_{as} = \frac{\sigma \epsilon_s T_s^4}{1 - (1 - \epsilon_s)} = \sigma T_s^4 = \dot{q}_{ep} ,$$

d.h. die auf das Pyrometer einfallende Strahldichte \dot{q}_{ep} hängt nicht mehr von Emissionsgrad des Substrats ab. Das Pyrometer kann damit eine korrekte Temperatur des Substrats liefern. In der Praxis wird jedoch die Substratumgebung im staubigen Prozess verschmutzt, sodass ein Emissionsgrad ϵ_u von 0 nicht mehr vorliegt bzw. die Substratumgebung über die Zeit nicht mehr hochreflektierend ist. Somit ist eine zuverlässige Temperaturmessung bei Verschmutzungen der Umgebung nicht möglich.

[0063] In zweitem Fall, dass gemäß der Erfindung die Temperatur der Substratumgebung T_u auf die Temperatur des Substrats T_s geregelt ist, d.h. die Temperatur T_u ist gleich der Temperatur T_s , ergibt sich die vom Substrat ausgesendete Strahldichte \dot{q}_{as} wie folgt:

$$(10) \quad \dot{q}_{as} = \frac{\sigma \epsilon_s T_s^4 + \sigma (1 - \epsilon_s) \epsilon_u T_u^4}{1 - (1 - \epsilon_s)(1 - \epsilon_u)} = \frac{\sigma \epsilon_s T_s^4 + \sigma (1 - \epsilon_s) \epsilon_u T_s^4}{1 - (1 - \epsilon_s)(1 - \epsilon_u)} = \sigma T_s^4 ,$$

d.h. die auf das Pyrometer einfallende Strahldichte \dot{q}_{ep} hängt nicht mehr von Emissionsgrad des Substrats ab. Beim Beheizen der Substratumgebung auf die Substrattemperatur, kann das Pyrometer unabhängig vom Zustand des Substrats und der Substratumgebung sowie ohne Kenntnis vom Emissionsgrad des Substrats und der Substratumgebung eine genaue Substrattemperatur über die Zeit liefern.

[0064] In Fig. 3 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Temperaturmessung eines Substrats vereinfacht dargestellt. Das Substrat **1** ist im Messwellenlängenbereich teiltransparent und wird in einer nicht gargestellten Behandlungskammer z.B. einer Vakuumbeschichtungskammer einer Behandlungsanlage beheizt und behandelt. Dabei wird ein Pyrometer **2** zur Temperaturmessung eingesetzt, das auf das Substrat **1** gerichtet und mit einer Auswerteinrichtung **3** verbunden ist. Vom Pyrometer **1** aus gesehen sind eine vorderseitige Substratumgebung **4** und eine zweite Substratumgebung **9** als rückseitige Substratumgebung in räumlicher Nähe zum Substrat **1** vorgesehen. Im Falle, dass das zu messende Substrat **1** im Messwellenlängenbereich nicht transparent ist, kann auf die zweite Substratumgebung **9** verzichtet werden. Die Substratumgebung **4** ist vereinfacht als Platte dargestellt. An der dem Substrat **1** abgewandten Seite der Substratumgebung befindet sich jeweils eine Heizeinrichtung z.B. Gegenheizung **5, 10** zum Beheizen der Substratumgebung **4, 9**. Die Heizeinrichtung **5, 10** ist mit einer Regeleinrichtung bzw. einem Regler **6** verbunden. Zum besseren Regeln der Gegenheizung **5, 10** ist jeweils eine Wärmesenke **8, 11** an der der Substratumgebung **4, 9** abgewandten Seite der Heizeinrichtung **5, 10** vorgesehen. Auf einfache Weise kann die Wärmesenke **11** eine kalte Anlagenumgebung sein, die schon in der Behandlungsanlage vorhanden ist. Die Temperatur der Substratumgebung **4, 9** wird mittels einer Messeinrichtung **7** (z.B. Thermoelement) ermittelt. Zum Regeln der Gegenheizung **5, 10** ist die Regeleinrichtung **6**, zusammen mit der Auswerteinrichtung **3** und der Messeinrichtung **7** miteinander verbunden. Die Gegenheizung kann sich ggf. über die gesamte Substratbreite erstrecken und damit gleiche thermische

Bedingungen herrschen, da die Gegenheizung auf die Substrattemperatur geregelt wird. In **Fig. 4** ist ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung dargestellt. Das Substrat **1** ist teiltransparent. In räumlicher Nähe des Substrats **1** befinden sich eine vorderseitige Substratumgebung und eine zweite Substratumgebung **9**. Die vorderseitige Substratumgebung ist hier nicht dargestellt. Wenn hinter der Gegenheizung **10** eine durch Prozessheizer geheizte Prozessumgebung **12** vorhanden ist, muss dann eine zusätzliche Wärmesenke **13** beispielsweise Kühlplatte, ggf. ausgestattet mit Strahlungsschirmen zwischen der Gegenheizung **10** und der geheizten Prozessumgebung **12** eingesetzt werden um die Gegenheizung **10** sauber zu regeln.

[0065] Zur Messung der Substrattemperatur kann der Betrieb auf zwei Arten folgen, wobei der Emissionsgrad am Pyrometer unabhängig vom Zustand des Substrats auf 1,0 eingestellt wird. Die Temperaturmessung startet aus dem kalten Zustand, d.h. die Gegenheizung ist ausgeschaltet und die Substratumgebung wird noch nicht geheizt. Sobald das erste Substrat in die Behandlungskammer kommt, wird vom Pyrometer ein Messwert ermittelt, welcher zunächst noch kleiner als die tatsächliche Substrattemperatur ist. Die Gegenheizung wird auf diesen Messwert geregelt. Mit steigender Temperatur der Gegenheizung wird der Messwert des Pyrometers zunehmen, was zur Folge hat, dass die Regelung versucht, auch die Substratumgebung auf diesen höheren Messwert zu heizen. Dieses Aufheizen ist genau dann beendet, wenn die Substrattemperatur gleich der Umgebungstemperatur ist. Dann zeigt auch das Pyrometer mit Emissionsgrad von 1,0 die tatsächliche Substrattemperatur an, wobei das teiltransparente Substrat jedoch einen Emissionsgrad kleiner als 1,0 besitzt.

[0066] Alternativ startet die Temperaturmessung aus dem warmen Zustand d.h. die Substratumgebung bzw. die Gegenheizung wird auf den vermuteten Substrattemperaturwert vorgeheizt auch wenn das Substrat noch nicht in die Behandlungskammer transportiert wird. Sobald das erste Substrat den Pyrometermessweg des Pyrometers überstreicht, wird von der Regelung eine Anpassung der Gegenheizung vorgenommen. Der anschließende Ablauf ist ansonsten wie oben beschrieben, allerdings werden Einschwingzeiten wesentlich verkürzt.

[0067] In **Fig. 5a**, **Fig. 5b** ist ein Pyrometerrohr vereinfacht dargestellt. Ein Substrat **1** liegt auf einer Substratlage auf einer Transporteinrichtung auf und wird in die Behandlungskammer **20** transportiert, beheizt und mit dem Pyrometer **2** gemessen. Das Pyrometer **2** befindet sich außerhalb der Behandlungskammer **20** und ist mit einem Pyrometerrohr **14** verbunden, das auf eine Messstelle **15** des Substrats **1** gerichtet ist. In **Fig. 5a** ist das Pyrometerrohr **14** senkrecht zum Substrat **1** bzw. senkrecht zur Substratoberfläche **17** gerichtet und in **Fig. 5b** gekippt eingebaut, d.h. die längliche Achse des Pyrometerrohres oder die Messachse des Pyrometermesswegs ist schräg zur Substratoberfläche **17**. Zum Verbessern der pyrometrischen Messung wird Substratumgebung **4** verwendet, die beispielsweise das Pyrometerrohr **14** umschließt. In **Fig. 5a** ist die Substratumgebung **4** als eine umlaufende Kreisringfläche mit einem Durchmesser dargestellt und in **Fig. 5b** eine umlaufende Fläche mit einem gleichwertigen Durchmesser. Es ist in diesem Fall auch nur notwendig, die Substratumgebung im Wesentlichen in die Richtung auszudehnen, in die das Pyrometerrohr zeigt. Die Substratumgebung kann aber auch eckig oder in beliebiger geometrischer Form ausgeführt sein.

[0068] In **Fig. 5c**, **Fig. 5d** ist eine Draufsicht des Substrats ausgehen vom Pyrometer bzw. die Substratoberfläche. Die Messstelle **15** an der Substratoberfläche **17** weist eine Fläche auf, die beispielsweise der Projektion vom Pyrometerrohr **14** auf die Substratoberfläche **17** entspricht. Die Messstellenumgebung **16** weist eine größere Fläche an der Substratoberfläche **17** auf, die der Projektion der Substratumgebung **4** entspricht. In **Fig. 5c** ist eine Darstellung der Messstellenumgebung **16** bei einer geraden Anordnung des Pyrometerrohres **14**, d.h. das Pyrometerrohr **14** ist senkrecht auf die Substratoberfläche **17** gerichtet. Dabei ist die Messstellenumgebung **16** als eine um die Messstelle **15** umlaufende Kreisringfläche dargestellt. In **Fig. 5d** ist die Messstelle **15** bei einem gekippten Einbau des Pyrometerrohres **14**, d.h. das Pyrometerrohr **14** schräg auf die Substratoberfläche **17** gerichtet ist, oval-förmig dargestellt.

[0069] **Fig. 6a** ist ein Pyrometerrohr gemäß der **Fig. 5a** dargestellt. Das Substrat **1** besitzt einen Emissionsgrad \mathcal{E}_S und das Pyrometerrohr **14** sowie die Substratumgebung **4** einen Emissionsgrad \mathcal{E}_U . Die Anordnung aus Substrat **1**, Pyrometerrohr **14** und Substratumgebung **4** wird von einer hier nicht abgebildeten Anlagenumgebung umschlossen. Der Abstand zwischen der Substratumgebung und dem Substrat ist $a_{U,S}$ und die Substratumgebung hat eine Größe bzw. einen gleichwertigen Durchmesser $d_{U,gl}$. In diesem Beispiel ist die Substrattemperatur 300°C und die Umgebungstemperatur (Anlagenumgebung) 250°C . Die Temperatur der Substratumgebung **4** wird auf den Pyrometermesswert geregelt. Das Substrat hat einen Emissionsgrad \mathcal{E}_U von 0,5 und die Umgebung hat drei verschiedene Emissionsgrade von 0,0, 0,5, und 1,0. In **Fig. 6b** ist der Zusammenhang von Geometrie und Messfehler dargestellt. Wenn die Anlagenumgebung (umschließt Nummern 1, 4, 14) die exakte Substrattemperatur besitzt, wird idealweise ein Messfehler von 0,0 ermittelt. Wenn aber die Umgebung nicht die gleiche Substrattemperatur besitzt, wird dann ein Messfehler ermittelt, der vom Verhält-

nis zwischen dem Abstand $a_{U,S}$ und der Größe der Substratumgebung bzw. dem gleichwertigen Durchmesser $d_{U,gl}$ abhängig ist. Je größer der Abstand zwischen Substrat und Substratumgebung bzw. Pyrometerrohr, desto größer der Messfehler des Pyrometers, da unerwünschte Fremdstrahlung in den Pyrometermessweg gelangen kann. Dies ist deutlich zu sehen bei einem theoretischen Emissionsgrad der Substratumgebung **4** von 0,0. Im Falle, dass die Anlagenumgebung eine höhere Temperatur als die Substrattemperatur besitzt, beispielsweise eine Temperatur von 350°C, wird der Messfehler vergrößert, da die Strahlung von der heißen Anlagenumgebung durch Reflexion an der Oberfläche des Substrates **1** und der Substratumgebung **4** auch in den Pyrometermessweg gelangt und vom Pyrometer erfasst wird. Dies ist aber unerwünscht. Im Falle, dass das Substrat einen größeren Emissionsgrad aufweist, wird der Messfehler verkleinert. In der Praxis, wird ein Abstand $a_{U,S}$ zwischen Pyrometerrohr und Substrat kleiner als 1/10 des gleichwertigen Durchmessers der Substratumgebung eingesetzt, sodass die Fremdstrahlung nicht in den Pyrometermessweg gelangen und die Messung nicht verfälschen kann.

Bezugszeichenliste

1	Substrat
2	Pyrometer
3	Auswerteinrichtung
4	Substratumgebung
5	Heizeinrichtung, Gegenheizung
6	Regeleinrichtung, Regler
7	Messeinrichtung
8	Wärmesenke
9	Substratumgebung
10	Heizeinrichtung, Gegenheizung
11	Wärmesenke (kalte Anlagenumgebung)
12	Prozessumgebung
13	Wärmesenke, Kühlplatte (mit Strahlungsschirmen)
14	Pyrometerrohr
15	Messstelle
16	Messstellenumgebung
17	Substratoberfläche
20	Behandlungskammer
21	Kammerwandung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2009/044303 A2 [0015]
- DE 102012201061 A1 [0016]
- DE 102012201054 A1 [0017]
- US 6345909 B1 [0018]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Temperaturmessung eines Substrats (1) in einer Behandlungskammer (20), indem die Temperatur des Substrats (1) an einer Messstelle (15) mittels eines Pyrometers (2) ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Substratumgebung (4), die alle Oberflächen von Bauteilen umfasst, welche einer Messstellenumgebung (16) direkt gegenüberliegen und eine Projektion auf die Messstellenumgebung (16) aufweisen, auf einen vom Pyrometer (2) aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt wird, wobei die Messstellenumgebung (16) eine die Messstelle (15) umgebende Teilfläche der Substratoberfläche (17) darstellt, und dass am Pyrometer (2) ein Emissionsgrad unabhängig vom Emissionsgrad des Substrats (1) eingestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Pyrometer (2) ein Emissionsgrad von größer 0,8 – vorzugsweise größer 0,9 – besonders bevorzugt von 1,0 eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Größe der Messstellenumgebung (16) durch den durchschnittlichen Abstand der Substratumgebung (4) von der Substratoberfläche (17) und einen angestrebten Messfehler bestimmt wird.
4. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auch ein Bauteil, insbesondere ein Pyrometerrohr (14), das einen Pyrometermessweg, der die Strecke von der Messstelle (15) zum Pyrometer (2) darstellt, direkt umgibt, auf den aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt wird.
5. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels einer Heizeinrichtung (5) die Substratumgebung (4) auf den aktuell vom Pyrometer (2) ermittelten Temperaturwert beheizt und deren Temperatur mittels einer Messeinrichtung (7) gemessen wird, wobei die Temperatur der Heizeinrichtung (5) durch eine Regeleinrichtung (6) geregelt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinrichtung (5) mit einer mit dem Pyrometer (2) verbundenen Auswerteinrichtung (3) und der Messeinrichtung (7) miteinander verbunden wird, und die Temperatur der Substratumgebung (4) in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen der Substratumgebung (4) und dem aktuell vom Pyrometer (2) ermittelten Temperaturwert geregelt wird.
7. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vom Pyrometer (2) aus gesehen hinter dem Substrat (1) eine zweite Substratumgebung (9), die alle Oberflächen von Bauteilen umfasst, welche eine Projektion auf die Messstellenumgebung (16) aufweisen, auf den aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt wird.
8. Verfahren nach einem der vorherstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat (1) in die Behandlungskammer (20) transportiert und mit dem Pyrometer (2) gemessen wird, oder die Substratumgebung (4, 9) vorgeheizt und anschließend das Substrat (1) in die Behandlungskammer (20) transportiert und mit dem Pyrometer (2) gemessen wird, wobei während der Temperaturmessung die Substratumgebung (4, 9) auf den aktuell ermittelten Temperaturwert geregelt wird.
9. Vorrichtung zur Temperaturmessung eines Substrats (1) in einer Behandlungskammer (20), umfassend ein Pyrometer (2) zur Erfassung der von einer Messstelle (15) des Substrats (1) ausgesandten Wärmestrahlung und daraus Ermittlung der Temperatur der Messstelle (15), **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Substratumgebung (4), die alle Oberflächen von Bauteilen umfasst, welche einer Messstellenumgebung (16) direkt gegenüberliegen und eine Projektion auf die Messstellenumgebung (16) aufweisen, auf einen vom Pyrometer (2) aktuell ermittelten Temperaturwert regelbar ist, wobei bei einem eingelegten Substrat (1) die Messstellenumgebung (16) eine die Messstelle (15) umgebende Teilfläche der Substratoberfläche (17) darstellt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Größe der Messstellenumgebung (16) durch den durchschnittlichen Abstand der Substratumgebung (4) von der Substratoberfläche (17) und einen angestrebten Messfehler gegeben ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Abstand kleiner als 1/10 der durchschnittlichen lateralen Erstreckung der Messstellenumgebung (16) von der Messstelle (15) aus ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Heizeinrichtung (5) zum Beheizen der Substratumgebung (4) und eine Messeinrichtung (7) zur deren Temperaturmessung vor-

gesehen sind, wobei die Heizeinrichtung (5) mit einer Regeleinrichtung (6) verbunden ist, die mit der Messeinrichtung (7) und einer mit dem Pyrometer (2) verbundenen Auswerteinrichtung (3) miteinander verbunden ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der der Substratumgebung (4) abgewandten Seite der Heizeinrichtung (5) eine Wärmesenke (8) vorgesehen ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Substratlage zum Auflegen eines Substrats vorgesehen ist und vom Pyrometer (2) aus gesehen hinter der Substratlage eine zweite Substratumgebung (9) angeordnet ist, die alle Oberflächen von Bauteilen umfasst, welche eine Projektion auf die Messstellenumgebung (16) aufweisen, und die auf den aktuell ermittelten Temperaturwert regelbar ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass auch ein Bauteil, insbesondere ein Pyrometerrohr (14), das einen Pyrometermessweg, der die Strecke von der Messstelle (15) zum Pyrometer (2) darstellt, direkt umgibt, auf den aktuell ermittelten Temperaturwert regelbar ist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1 (Stand der Technik)

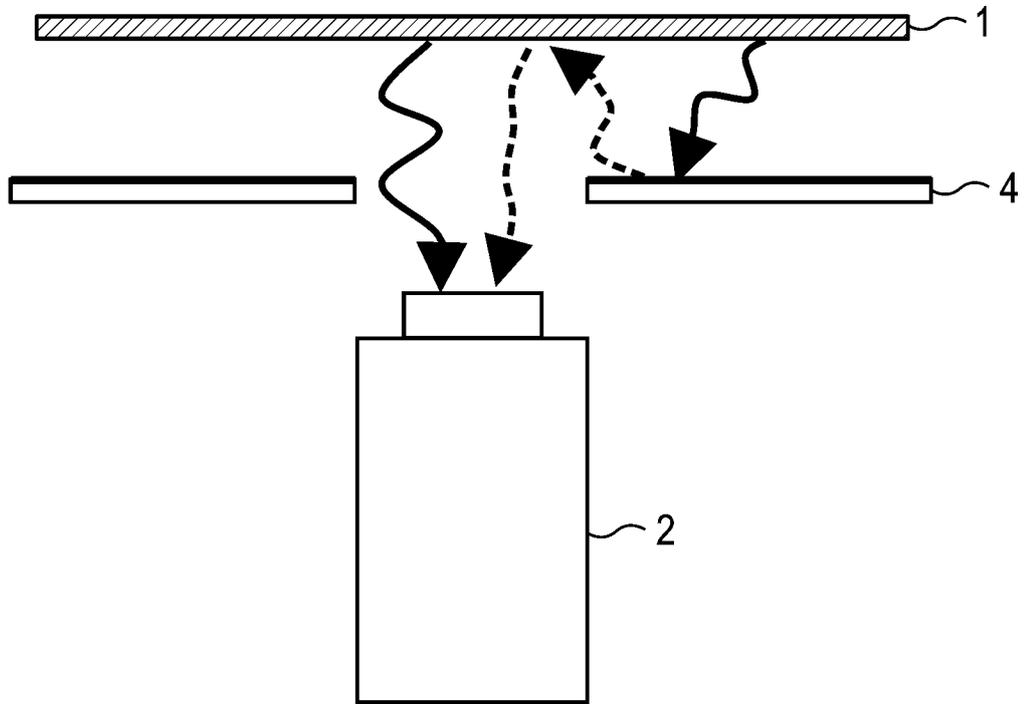


Fig. 2

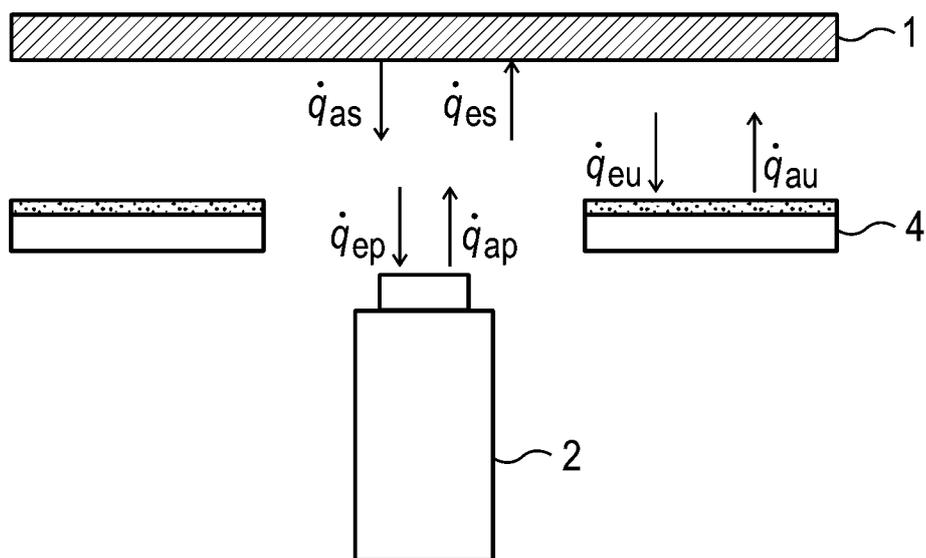


Fig. 3

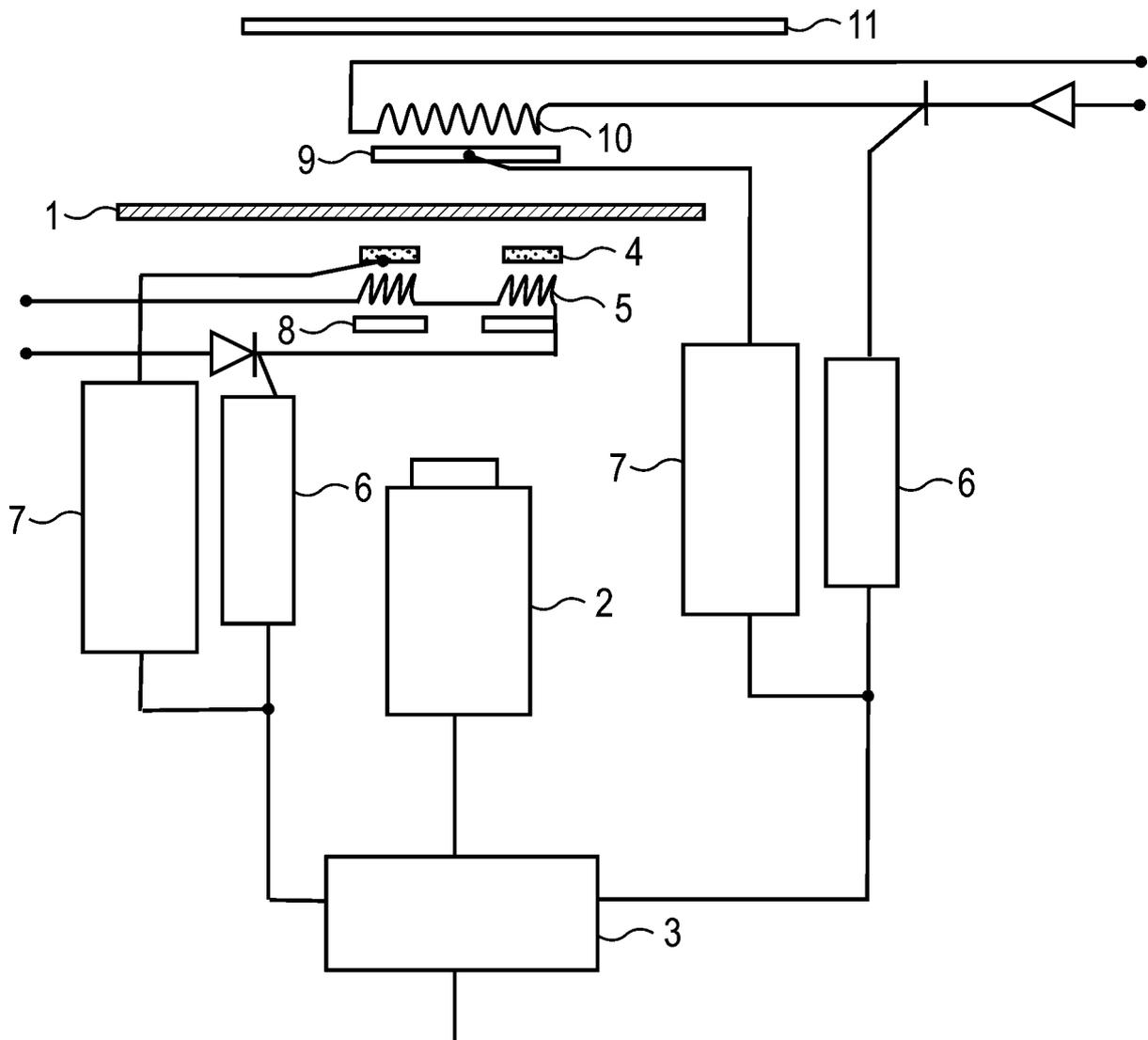


Fig. 4

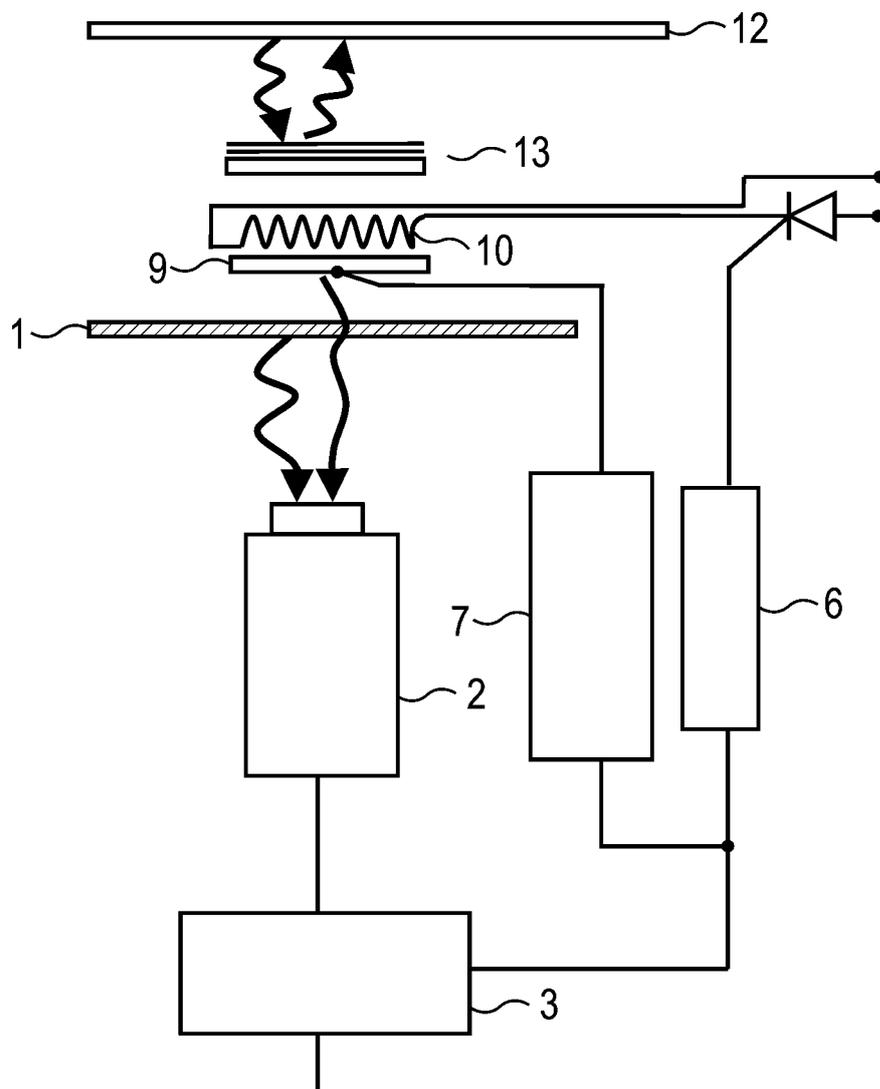


Fig. 5a

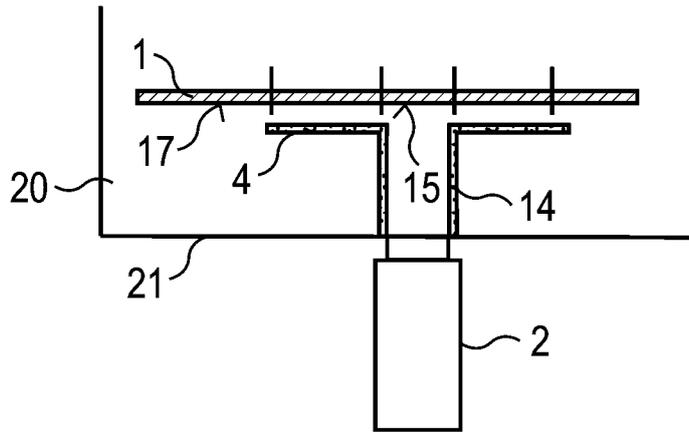


Fig. 5b

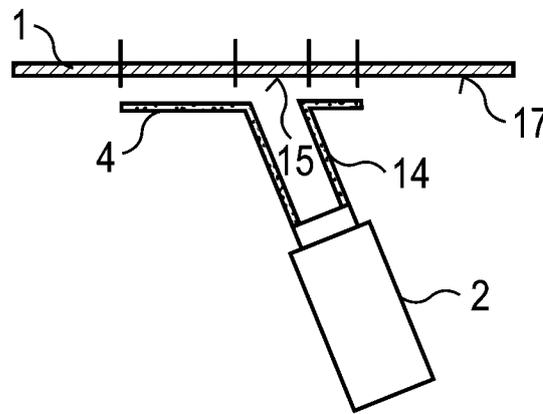


Fig. 5c

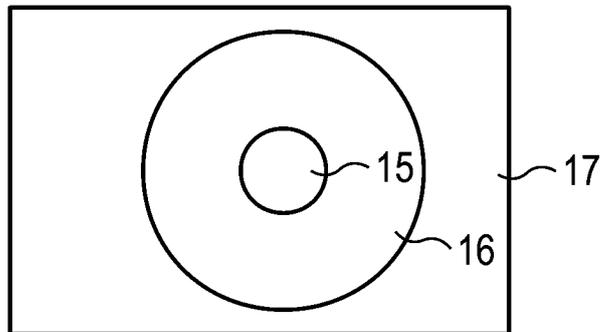


Fig. 5d

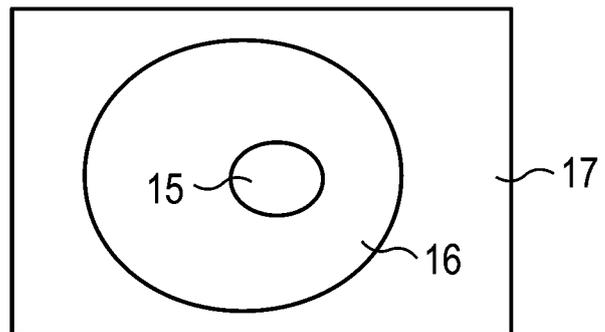


Fig. 6a

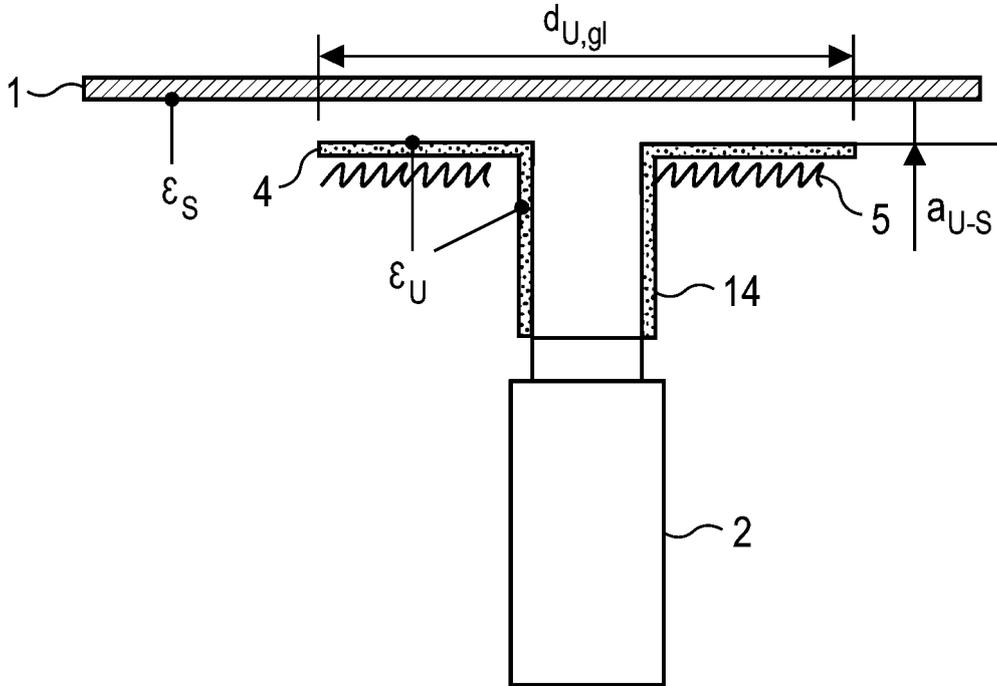


Fig. 6b

