

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. April 2020 (23.04.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/078860 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01J 5/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/077648

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Oktober 2019 (11.10.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 125 531.4
15. Oktober 2018 (15.10.2018) DE

(71) Anmelder: AIXTRON SE [DE/DE]; Dornkaulstr. 2,
52134 Herzogenrath (DE).

(72) Erfinder: LAUFFER, Peter Sebold; Rolandstr. 12, 52070
Aachen (DE).

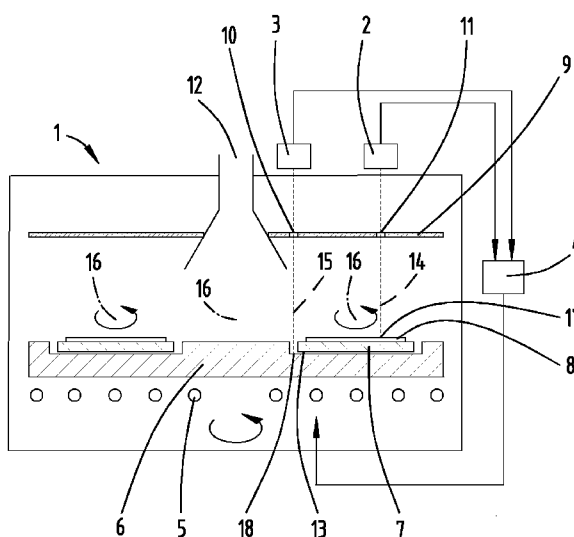
(74) Anwalt: GRUNDMANN, Dirk et al.; Rieder & Partner
mbB, Corneliusstraße 45, 42329 Wuppertal (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR CONTROLLING THE TEMPERATURE IN A CVD REACTOR

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR REGELUNG DER TEMPERATUR IN EINEM CVD-REAKTOR

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a device and a method for temperature control in a CVD reactor (1), in which a first temperature measurement device (2) is used to measure a first measurement value (T) of a temperature at a first measurement point (17) on a substrate (8), and a second temperature measurement device (3) is used to measure a second measurement value (T2) of a temperature at a second measurement point (18) outside the substrate (8). To control heating, a recalibration factor is applied to the temperature (T), the recalibration factor being calculated as a quotient of a plurality of first measurement values (T) and second measurement values (T2) measured over a past time. This is in particular the quotient of two averages.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Temperaturregelung in einem CVD-Reaktor

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(1), bei dem mit einer ersten Temperaturreineinrichtung (2) an einer ersten Messstelle (17) auf einem Substrat (8) ein erster Messwert (T) einer Temperatur und mit einer zweiten Temperaturreineinrichtung (3) an einer zweiten Messstelle (18) außerhalb des Substrates (8) ein zweiter Messwert (T2) einer Temperatur gemessen wird. Zur Regelung einer Heizung wird die Temperatur (T) mit einem Rekalibrierungsfaktor beaufschlagt, wobei der Rekalibrierungsfaktor ein Quotient aus einer Vielzahl von in einer zurückliegenden Zeit gemessenen ersten Messwerten (T) und zweiten Messwerten (T2) gebildet wird. Es handelt sich insbesondere um den Quotienten zweier Mittelwerte.

Beschreibung

Vorrichtung und Verfahren zur Regelung der Temperatur in einem CVD-Reaktor

Gebiet der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturregelung in einem CVD-Reaktor und einen CVD-Reaktor, bei dem mit einer ersten Temperatur-

5 messeinrichtung an einer ersten Messstelle eine Substrattemperatur und an einer zweiten Messstelle die Temperatur eines Suszeptors oder eines Substrathalters gemessen wird. Der CVD-Reaktor besitzt eine Regeleinrichtung zur Regelung der Substrattemperatur.

Stand der Technik

[0002] Verfahren zur Messung der Temperatur von Substratoberflächen oder

10 von Suszeptoroberflächen, bei denen mittels zwei Pyrometern an verschiedenen Stellen auf dem Suszeptor Temperaturen gemessen werden, sind beispielsweise aus der US 8,888,360 B2; 9,200,965 B2 oder US 6,398,406 B1 vorbekannt.

[0003] Die Bildung von Soll-Werten aus verschiedenen Temperaturen wird auch in der DE 10 2015 100 640 A1 beschrieben.

15 [0004] Beim Abscheiden von Schichten auf Substraten in einem CVD-Reaktor werden an ersten Messstellen erste Messwerte einer Substrattemperatur und an zweiten Messstellen außerhalb des Substrates zweite Messwerte einer Suszeptortemperatur gemessen. Die Messung erfolgt üblicherweise mit zwei voneinander verschiedenen Temperaturmesseinrichtungen, wobei diese Temperatur-

20 turmesseinrichtungen Pyrometer sein können. Die Temperaturmesseinrichtungen können qualitativ voneinander verschiedene Messwerte liefern, wobei sich die Messwerte qualitativ dadurch unterscheiden, dass beispielsweise nur der

zweite Messwert technisch für eine Regelung geeignet ist und der erste Messwert technisch nicht für eine Regelung geeignet ist. Beispielsweise kann der erste Messwert deshalb technisch nicht für eine Regelung verwendet werden, weil er ein nachlaufender Messwert ist, der nur zeitverzögert zur Verfügung steht, und weil der erste Messwert Schwankungen unterliegt oder aufgrund von Oberflächeneigenschaften, Emissionseigenschaften oder Reflexionseigenschaften des Substrates technisch schwer auszuwerten, aufzubereiten oder zu ermitteln ist. Die technologisch relevante Temperatur ist aber nicht die mit dem zweiten Messwert gemessene Temperatur, sondern die Oberflächentemperatur des Substrates, da an dieser Oberfläche chemische oder physikalische Reaktionen stattfinden. Beispielsweise wird in einem erfindungsgemäßen CVD-Reaktor eine aus mehreren Komponenten bestehende Halbleiterschicht abgeschieden. Der CVD-Reaktor kann beispielsweise dazu verwendet werden GaN-Schichten oder AlN-Schichten abzuscheiden. Das Abscheiden dieser Schichten kann auf Siliciumsubstraten aber auch auf Saphirsubstraten stattfinden. Das Material der Schichten bzw. des Substrates kann für infrarotes Licht transparent sein, so dass erste Messwerte nicht mit einem IR-Pyrometer ermittelbar sind, sondern anderweitig zu ermitteln sind.

[0005] Aus dem oben genannten Stand der Technik wurden bereits Vorschläge gemacht, wie man mit Hilfe mathematischer Funktionen, deren Argumente mehrere zu verschiedenen Zeiten gemessene Messwerte sind, einen Temperatur-Ist-Wert erzeugen kann, der weitestgehend der Substrattemperatur entspricht und der zur Regelung einer Heizeinrichtung verwendet werden kann, mit dem der Suszeptor und das vom Suszeptor getragene Substrat beheizt wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das eingangs genannte Verfahren zur Erzeugung einer Ist-Temperatur weiter zu verbessern und einen hierzu verwendbaren CVD-Reaktor anzugeben.

[0007] Gelöst wird die Aufgabe durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung, wobei die Unteransprüche nicht nur vorteilhafte Weiterbildungen der in den nebengeordneten Ansprüchen angegebenen Lösung sind, sondern auch eigenständige Lösungen der Aufgabe darstellen.

[0008] Zunächst und im Wesentlichen wird vorgeschlagen, dass zur Bestimmung eines gegen einen Soll-Wert geregelten Ist-Wertes, insbesondere einer Ist-Temperatur ein Rekalibrierungsfaktor verwendet wird. Der Rekalibrierungsfaktor wird zumindest aus mehreren ersten Messwerten gewonnen, die in einem Zeitintervall von mindestens 10 Sekunden zeitlich zurückliegend gewonnen werden können. Mit dem Rekalibrierungsfaktor wird der aktuelle zweite Messwert multipliziert. In einer ersten Variante wird der Rekalibrierungsfaktor aus einem Mittelwert von in einem Zeitintervall gemessenen ersten Messwerten gebildet. Das Zeitintervall kann Messwerte enthalten, die zu einer Zeit gemessen werden, die um einen Zeitversatz gegenüber dem aktuellen zweiten Messwert zurückliegen. Der zeitliche Verlauf der Substrattemperatur, also des ersten Messwertes, kann gegenüber dem zeitlichen Verlauf der Suszeptortemperatur, also des zweiten Messwertes, zeitlich verzögert sein. Die zeitliche Verzögerung liegt etwa in der Größenordnung von 10 bis 30 Sekunden. Die zeitliche Verzögerung ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, beispielsweise auf die Trägheit des Systems, die unterschiedlichen Wärmeflusswege, die Signalverarbeitungszeiten und auf eine Drehung des Suszeptors um eine Drehachse. Typischerweise dreht sich der Suszeptor mit 5 U/min. Die zur Bildung des Mittelwertes verwendeten Messwerte enthalten insbesondere Messwerte, die gegen-

über dem Zeitpunkt der Messung des aktuellen zweiten Messwertes um eine Zeit zurückliegen, die beispielsweise einem Drittel, der Hälfte oder einem Ganzen der Zeit entspricht, um die der zeitliche Verlauf des ersten Messwertes gegenüber dem zeitlichen Verlauf des zweiten Messwertes verzögert ist. Es ist insbesondere vorgesehen, dass zur Gewinnung des Rekalibrierungsfaktors erste Messwerte verwendet werden, die um eine Zeit zurückliegen, die mindestens der Zeit einer Umdrehung des Suszeptors entspricht. Diese Zeiten liegen typischerweise oberhalb von 4 Sekunden oder oberhalb von 12 Sekunden. In einer bevorzugten Variante enthält der Rekalibrierungsfaktor einen Quotienten aus dem ersten Wert, insbesondere dem oben erörterten Mittelwert und einem zweiten Wert, wobei der zweite Wert aus zeitlich zurückliegenden zweiten Messwerten gebildet wird. Der zweite Wert kann ebenso wie der erste Wert ein Mittelwert aus einer Mehrzahl in einem Zeitintervall gemessenen ersten Messwerten sein. Das Zeitintervall beträgt auch hier bevorzugt zumindest die Umdrehungszeit des Suszeptors oder eine Verzögerungszeit, um die sich die beiden Messwerte zeitlich verzögert ändern und insbesondere nach einer Temperaturänderung zeitverzögert einen stationären Zustand einnehmen, oder mindestens 10 Sekunden. Zur Bildung des Mittelwertes können unmittelbar die ersten Temperaturwerte oder die zweiten Temperaturwerte verwendet werden. Es ist aber auch vorgesehen, zuvor den zeitlichen Verlauf der Temperaturmesswerte mit einem Tiefpassfilter zu filtern. Alternativ zur Mittelwertbildung kann der erste Wert zur Erzeugung des Rekalibrierungsfaktors und/oder der zweite Wert zur Erzeugung des Rekalibrierungsfaktors auch jeweils über einen tiefpassgefilterten zeitlichen Temperaturverlauf gewonnen werden. Die Grenzfrequenz des hierbei verwendeten, insbesondere digitalen Tiefpassfilters kann hierbei der oben genannten Zeit, also beispielsweise der Umlaufzeit des Suszeptors oder 10 Sekunden oder mehr entsprechen. Die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters kann darüber hinaus auch die reziproke Zeit sein, um die die Zeitpunkte auseinanderliegen, an denen nach einer Temperaturänderung die beiden Messwerte wieder einen stationären Zustand erreichen. Die Grenzfrequenz

quenz beträgt insbesondere maximal 0,1 Hz. Zur Regelung wird also nicht die außerhalb des Substrates am Suszeptor gemessene zweite Temperatur verwendet, sondern eine Mischtemperatur die aus einem Produkt eines ersten Mittelwertes und dem zweiten Messwert berechnet wird. Zur Bildung des ersten Mittelwertes kann eine Vielzahl von ersten Messwerten innerhalb eines Integrationsintervalls von mindestens 10 Sekunden aufintegriert werden. Der erste Mittelwert bildet somit einen zeitlichen Mittelwert der ersten Temperatur für eine gewisse zurückliegende Zeit. Bevorzugt berechnet sich der Rekalibrierungsfaktor wie folgt:

$$R_c = \frac{M_1}{M_2}$$

Dabei hängt der erste Wert M_1 bevorzugt ausschließlich von ersten in einem zurückliegenden Zeitintervall gemessenen Werten, also insbesondere von den Substrattemperaturen ab. Bevorzugt hängt der zweite Wert M_2 ausschließlich von in einem zurückliegenden Zeitintervall gemessenen zweiten Werten, also bevorzugt den Suszeptortemperaturen oder Substrathaltertemperaturen ab. In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann vorgesehen sein, dass das Zeitintervall bzw. als reziproke Zeit die Grenzfrequenz eines Tiefpassfilters länger als 10 Sekunden andauert, es kann beispielsweise mindestens 15 Sekunden, mindestens 20 Sekunden, mindestens 40 Sekunden, mindestens 60 Sekunden, mindestens 80 Sekunden, mindestens 100 Sekunden oder mindestens 120 Sekunden lang sein. Je länger das Zeitintervall ist, desto träger reagiert die Regelung auf Änderungen der mit der ersten Temperaturmesseinrichtung gelieferten Messwerte. Es ist vorgesehen, dass in etwa jeder Sekunde ein Messwert gewonnen wird. Es ist ferner vorgesehen, dass jeder Mittelwert aus zumindest zehn Messwerten, bevorzugt mindestens 20 oder mehr als 30 Messwerten gebildet wird.

[0009] Bei dem verwendeten CVD-Reaktor kann es sich um einen CVD-Reaktor handeln, wie er aus dem Stand der Technik bekannt ist. Der CVD-Reaktor besitzt ein gasdichtes, evakuierbares Gehäuse, in dem sich eine Prozesskammer befindet. Der Boden oder die Decke der Prozesskammer kann von einem Suszeptor ausgebildet sein. Bei dem Suszeptor kann es sich um eine gegebenenfalls beschichtete Graphitscheibe handeln, die von unten oder oben mit einer Heizeinrichtung, beispielsweise einer RF- oder IR-Heizeinrichtung beheizbar ist. Auf der zur Prozesskammer weisenden Breitseitenfläche des Suszeptors können ein oder mehrere Substrate angeordnet sein. Zwischen den Substraten können Abdeckplatten vorgesehen sein, die die Suszeptoroberfläche abdecken. Die ein oder mehreren Substrate können auf Substrathaltern angeordnet sein, die in Taschen des Suszeptors einliegen oder direkt auf der Oberfläche des Suszeptors angeordnet sein. Der Suszeptor kann um seine Figurenachse gedreht werden. Er kann aber auch ortsfest zum Gehäuse verbleiben. Die Substrathalter können drehbar in Taschen liegen ein und können auf einem Gaspolster aufliegen, das die Substrathalter in eine Drehung um ihre Achse versetzen kann. Der Prozesskammerdecke oder dem Prozesskammerboden kann ein Gaseinlassorgan zugeordnet sein. Es kann sich um ein im Zentrum der Prozesskammer angeordnetes zentrales Gaseinlassorgan handeln. Es ist aber auch vorgesehen, dass das Gaseinlassorgan von einem Showerhead ausgebildet ist, der sich im Wesentlichen über die gesamte Breitseitenfläche des Suszeptor erstreckt und eine Vielzahl von Gasaustrittsöffnungen aufweist. Durch das Gaseinlassorgan werden gasförmige Ausgangsstoffe zusammen mit einem Trägergas in die Prozesskammer eingeleitet, wo sich die Ausgangsstoffe, bei denen es sich um Hydride von Elementen der V. Hauptgruppe und metallorganischen Verbindungen der III. Hauptgruppe handeln, zerlegen. Das Temperaturprofil innerhalb der Prozesskammer beeinflusst das Schichtwachstum von Zerlegungsprodukten der gasförmigen Ausgangsstoffe, beispielweise GaN oder AlN. Bei den Substraten kann es sich um III-V-Substrate, Saphirsubstrate oder Siliciumsubstrate handeln. Es sind zumindest zwei Temperaturmessenrichtun-

gen vorgesehen, um die Temperatur an unterschiedlichen Stellen zu messen. An einer ersten Messstelle kann auf einem Substrat ein erster Messwert gemessen werden. An einer zweiten Stelle kann außerhalb des Substrates ein zweiter Messwert gemessen werden. Der zweite Messwert kann auf derselben Seite des

5 Suszeptors gemessen werden, auf der auch der erste Messwert gemessen wird. Es ist aber auch vorgesehen, dass der zweite Messwert auf der Seite des Suszeptors gemessen wird, die dem Substrat gegenüber liegt. Die beiden Messstellen können somit auf voneinander verschiedenen Seiten des Suszeptors angeordnet sein. Bei einer Variante der Erfindung können sich oberhalb der Prozessdecke

10 zwei Pyrometer befinden, von denen eines an einer ersten Messstelle auf einem Substrat den ersten Messwert und ein zweites Pyrometer an einer zweiten Messstelle außerhalb des Substrates, beispielsweise auf der Suszeptoroberfläche oder auf dem Boden einer Tasche in der ein Substrathalter gelagert ist, einen zweiten Messwert liefern. Gemäß einer Variante der Erfindung ist der erste

15 Wert ein Mittelwert M_1 , der wie folgt berechnet wird,

$$M_1 = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t T_1 dt$$

wobei τ ein Zeitintervall angibt, das zwischen 10 Sekunden und 120 Sekunden liegen kann oder auch länger andauern kann. Mit T_1 ist der Messwert der ersten Temperatur bezeichnet, der beispielsweise in Sekundenabständen gemessen

20 wird. In einer Variante der Erfindung ist der zweite Wert ein Mittelwert M_2 , der wie folgt gebildet wird:

$$M_2 = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t T_2 dt$$

wobei τ auch hier eine Zeit von größer 10 Sekunden ist, die insbesondere im Bereich zwischen 15 Sekunden und 120 Sekunden liegen kann. Mit T_2 ist ein Messwert der zweiten Temperatur bezeichnet der in Sekundenabständen gewonnen werden kann.

- 5 [0010] Zur Mittelwertbildung der Mittelwerte M_1 , M_2 können nicht nur die Temperaturmesswerte T_1 , T_2 verwendet werden. Es ist auch vorgesehen, zunächst aus den gemessenen Temperaturen T_1 , T_2 tiefpassgefilterte Temperaturen T_1' und/oder T_2' zu bilden, um aus diesen dynamisch gefilterten Temperaturen T_1' , T_2' Mittelwerte zu bilden.
- 10 [0011] Gemäß der ersten Variante wird aus dem ersten Mittelwert M_1 ein Rekalibrierungsfaktor R_c und daraus und einem zweiten Messwert T_2 wie folgt

$$T_R(t) = R_c * T_2(t)$$

ein Ist-Wert einer Temperatur berechnet, welcher Ist-Wert die Temperatur ist, die eine Regeleinrichtung gegen einen Soll-Wert regelt.

- 15 [0012] Gemäß einer zweiten, bevorzugten Variante der Erfindung wird die Ist-Temperatur wie folgt berechnet

$$T_R(t) = \frac{1}{M_2} * M_1 * T_2(t)$$

- Bei den Werten M_1 und M_2 handelt es sich gewissermaßen um geglättete, in der Vergangenheit zurückliegende erste und zweite Temperaturen. Je kleiner das
- 20 Zeitintervall ist, innerhalb dessen die Glättung stattfindet, desto mehr verhält sich die Temperatur T_R im kurzfristigem Regime wie die Substrattemperatur T_1 ,

je größer die Zeit ist desto mehr verhält sich T_R wie die Suszeptortemperatur T_2 ; Mittelfristig konvergiert sie immer gegen die Substrattemperatur T_1 . Zur Messung der Temperaturen können auch anderweitige Temperaturmesseinrichtungen, beispielsweise Spektrometer verwendet werden. Es ist insbesondere vorgesehen, dass die ersten Messwerte durch die sogenannte Bandkantenthermometrie (BET) ermittelt werden. Es ist insbesondere von Vorteil, die Bandkantenthermometrie zu verwenden, wenn die Substrattemperatur kleiner als 700 Grad Celsius ist, da UV-Pyrometer bei Temperaturen unterhalb von 700 Grad Celsius ein stark ansteigendes Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen. Bei der Bandkantenthermometrie wird das Substrat am Messpunkt mit Licht beaufschlagt, wobei das Licht bevorzugt zumindest Bereichsweise ein Bereich des Spektrum aufweist, beispielsweise weißes Licht ist. Mit einem Spektrometer wird das vom Substrat emittierte Licht vermessen. Es wird insbesondere dessen Frequenz bestimmt und hieraus eine Temperatur berechnet. Das Verfahren ist insofern von Vorteil, da es die Messwerte nicht von der Intensität des Lichtes, mit dem das Substrat beaufschlagt wird bzw. die das Substrat emittiert, abhängen. Ein Anstieg der Temperatur bewirkt eine höhere Bewegung der Gitteratome in der Schicht, was zu einer Veränderung der Bandlücke des Halbleiters führt. Die Wellenlänge des vom Substrat bzw. der darauf abgeschiedenen Schicht emittiert wird, vergrößert sich mit ansteigender Temperatur, sodass eine mit einem Spektrometer gemessene Peak-Wellenlänge als Maß für eine Substrattemperatur verwendet werden kann. Bei der Peak-Wellenlänge handelt es sich um die Wellenlänge, an der das Spektrum einen Scheitelpunkt zeigt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0013] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 einen Querschnitt durch einen CVD-Reaktor,

- Fig. 2 eine Darstellung gemäß Figur 1 eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung,
- Fig. 3 eine Darstellung gemäß Figur 1 eines dritten Ausführungsbeispiels der Erfindung,
- 5 Fig. 4a schematisch den Temperaturverlauf T_1 der Substrattemperatur bei einer Verminderung der Heizleistung,
- Fig. 4b schematisch den Verlauf der Suszeptortemperatur bzw. Substrathaltertemperatur nach dem Absenken der Heizleistung,
- 10 Fig. 4c den zeitlichen Verlauf der unter Verwendung eines Rekalibrierungsfaktors gebildeten Ist-Wert, der zur Temperaturregelung verwendet wird und
- 15 Fig. 4d schematisch den zeitlichen Verlauf des Rekalibrierungsfaktors, der beim Ausführungsbeispiel ein Quotient aus einem ersten Mittelwert von in einem Zeitintervall gemessenen Substrattemperaturen und einem zweiten Mittelwert aus in einem Zeitintervall gemessenen Suszeptor- oder Substrathaltertemperaturen ist.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0014] Der in den Figuren 1 bis 3 dargestellte CVD-Reaktor 1 besteht aus einem gasdichten, insbesondere aus Edelstahl gefertigten Gehäuse, in dem sich ein um eine Drehachse 16 drehantriebener Suszeptor 6 aus Graphit oder beschichtetem Graphit befindet. Unterhalb des Suszeptors 6 befindet sich eine Heizeinrichtung 5, mit der der Suszeptor 6 beheizt werden kann.

[0015] Auf der Oberseite des Suszeptors 6 befinden sich Taschen 13, in denen jeweils Substrathalter 7 angeordnet sind. Die Substrathalter 7 können auf einem Gaskissen ruhen und um Drehachsen 16 angetrieben werden. Jeder Substrathalter 7 trägt zumindest ein zu beschichtendes Substrat 8. Der Suszeptor 6 hat eine
5 Kreisscheibenform. Die Substrathalter 7 sind ringförmig um die Drehachse 16 angeordnet.

[0016] Beim Ausführungsbeispiel besitzt der CVD-Reaktor ein zentrales Gas-einlassorgan 12, durch welches die eingangs genannten Prozessgase in die Prozesskammer einströmen können, die nach unten durch den Suszeptor 6 und
10 nach oben durch eine Prozesskammerdecke 9 begrenzt ist.

[0017] Die Prozesskammerdecke 9 besitzt Öffnungen 10, 11. Oberhalb der Öffnungen 10, 11 befinden sich zwei Temperaturmesseinrichtungen 2, 3, bei denen es sich um Pyrometer handeln kann, die Messsignale liefern, die einer Regeleinrichtung 4 zugeleitet werden. Die Regeleinrichtung 4 verwendet die von den
15 Temperaturmesseinrichtungen 2, 3 gewonnenen ersten und zweiten Temperaturmesswerte, um die Heizeinrichtung 5 zu regeln.

[0018] Die erste Temperaturmesseinrichtung 2 misst entlang eines ersten optischen Weges 14 durch die Öffnung 11 hindurch an einer ersten Messstelle 17 eine Oberflächentemperatur des Substrates 8. Die zweite Temperaturmesseinrichtung 3 misst entlang eines zweiten optischen Weges 15 durch die Öffnung
20 10 hindurch an einer zweiten Messstelle 18 eine Temperatur des Suszeptors 6. Die zweite Temperaturmesseinrichtung 3 misst entlang eines zweiten optischen Weges 15 durch die Öffnung 10 hindurch an einer zweiten Messstelle 18 eine Temperatur, die bei dem in der Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel und
25 bei dem in der Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel die Temperatur des

Suszeptors 6 und bei dem in der Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel die Temperatur des Substrathalters 7 ist.

[0019] Bei dem in der Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel liegt die zweite Messstelle 18 am Boden einer Tasche 13, so dass der optische Weg 15
5 durch einen Ringspalt zwischen Substrathalter 7 und die Taschenwand hindurchläuft.

[0020] Bei dem in der Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel läuft der optische Weg 15 durch das auf dem Substrathalter 7 aufliegenden Substrat 8 hindurch. Die Temperaturmesseinrichtung 3 ist ein IR-Pyrometer. Das Substrat 8
10 ist für infrarotes Licht transparent, so dass mit dem IR-Pyrometer die Oberflächentemperatur des Substrathalters 7 bestimmt werden kann. Alternativ dazu kann die Messstelle 18 aber auch neben dem Substrat 8 auf der Oberseite des Substrathalters 7 liegen.

[0021] Bei dem in der Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel wird mit der
15 zweiten Temperaturmesseinrichtung 3 die Oberflächentemperatur des Suszeptors 6 gemessen. Die Messstelle 18 liegt hier unmittelbar neben dem Substrathalter. Die Messstelle 18 kann sowohl radial innerhalb als auch radial außerhalb des Substrathalters 7 liegen. Sie kann aber auch an einem Ort der Suszeptor-
oberfläche liegen, der zwischen zwei benachbarten Substrathaltern 7 angeordnet
20 ist. Es ist ferner vorgesehen, dass die Messstelle 18 zur Messung der Suszeptortemperatur auch auf der Unterseite des Suszeptors 6 angeordnet sein kann. Zur Messung der Suszeptortemperatur können Pyrometer oder Thermoelemente oder dergleichen verwendet werden.

[0022] Bei der zweiten Temperaturmesseinrichtung 2 kann es sich um ein UV-Pyrometer handeln, mit dem die Oberflächentemperatur des Substrates 8 gemessen wird.

[0023] Auf dem Suszeptor 6 können auch Abdeckplatten aufliegen. Die zweite
5 Messstelle kann auch auf einer der Abdeckplatten angeordnet sein.

[0024] Die Regeleinrichtung 4 ist derart ausgebildet, dass sie innerhalb von vorgegebenen Zeitintervallen, die mindestens 10 Sekunden, betragen erste Temperaturmesswerte T_1 mathematisch miteinander verknüpft, um einen algebraischen Mittelwert M_1 der ersten Temperatur T_1 über das Intervall zu bilden. Es kann ferner vorgesehen sein, dass die Regeleinrichtung derart eingerichtet ist, dass sie aus einer Vielzahl von Messwerten der zweiten Temperatur T_2 über ein Intervall, das mindestens 10 Sekunden lang ist, einen zweiten algebraischen Mittelwert M_2 der zweiten Temperatur T_2 bildet.
10

[0025] Die Regeleinrichtung 4 ist ferner so eingerichtet, dass sie aus dem ersten Mittelwert M_1 und dem aktuell gemessenen zweiten Messwert T_2 der zweiten Temperatur an der zweiten Messstelle 18 einen Ist-Wert T_R bildet, der zur Regelung der Heizeinrichtung 5 verwendet wird, wobei die modifizierte Ist-Temperatur T_R zumindest aus einem Produkt des ersten Mittelwertes M_1 und des aktuellen zweiten Messwertes T_2 besteht.
15

[0026] In einer Variante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der modifizierte Ist-Wert T_R nicht nur das Produkt aus erstem Mittelwert M_1 und dem aktuellen zweiten Messwert T_2 besteht, sondern zusätzlich noch durch einen zweiten Mittelwert M_2 der zweiten Temperatur dividiert worden ist.
20

[0027] Zur Bestimmung eines Mittelwertes werden bevorzugt mindestens zehn Messwerte entweder der ersten Temperatur T_1 oder der zweiten Temperatur T_2 verwendet.

[0028] Die Figur 4a zeigt die Reaktion der Temperatur T_1 des Substrates 8, wenn die Heizleistung zur Verminderung der Temperatur zum Zeitpunkt t_1 vermindert wird. Während einer Abkühlzeit von ca. 20 bis 30 Sekunden erreicht die Substrattemperatur T_1 zu einem Zeitpunkt t_3 ihr Minimum um anschließend nach einem durch die Regelung bedingten Überschwinger einen geringeren Wert einzunehmen.

[0029] Die Figur 4b zeigt den zeitlichen Verlauf der Temperatur T_2 des Suszeptors 6 oder des Substrathalters 7 nach einer Verminderung der Sollwert-Temperatur. Die Temperatur T_2 erreicht zu einem früheren Zeitpunkt, nämlich zum Zeitpunkt t_2 ihr Minimum, um anschließend nach einem vom Regelalgorithmus bedingten Überschwinger einen im Wesentlichen konstanten Wert einzunehmen. Aus den Figuren 4a und 4b ist ersichtlich, dass das Minimum der Substrattemperatur T_1 zu einer späteren Zeit t_3 erreicht wird, als das Minimum der Suszeptortemperatur T_2 , welches bereits bei einer Zeit t_2 erreicht wird. Die zeitliche Differenz der beiden Zeiten t_2 und t_3 liegt im Bereich von 10 bis 20 Sekunden.

[0030] Die Figuren 4a und 4b zeigen, dass die Temperatur T_1 geringfügig zeitlich verzögert nach dem Vermindern der Heizleistung zum Zeitpunkt t_1 gegenüber der Temperatur T_2 absinkt. Lässt man in der Betrachtung den zeitlich nach der Zeit t_3 beobachteten Überschwinger außer Betracht, so ist ersichtlich, dass das System eine generische Zeit in Form der Zeitdifferenz t_3 minus t_2 besitzt, also der Zeit, innerhalb der nach einer Temperaturveränderung die beiden Temperaturen T_1 , T_2 wieder ihre stationären Zustände erreichen.

[0031] Die Figur 4d zeigt einen mit der aktuellen Temperatur T_2 des Suszeptors zu multiplizierenden Rekalibrierungsfaktor R_c , der die Trägheit des Verlaufs der Substrattemperatur T_1 berücksichtigt. Beim Ausführungsbeispiel wird der Rekalibrierungsfaktor R_c durch den Quotienten zweier Mittelwerte gebildet, wobei im Zähler der Mittelwert der ersten Temperaturen T_1 und im Nenner der Mittelwert der zweiten Temperaturen T_2 steht.

[0032] Die Figur 4c zeigt die so berechnete, zur Regelung verwendete Ist-Temperatur T_R , die wie folgt berechnet wird:

$$T_R(t) = \frac{1}{M_2} * M_1 * T_2(t)$$

Die Integrationszeiten zur Bildung der Mittelwerte M_1 , M_2 beträgt hier zumindest die Zeit, die der Suszeptor für einen Umlauf um seine Drehachse benötigt. Anstelle der Mittelwerte M_1 , M_2 können aber auch tiefpassgefilterte Temperaturverläufe verwendet werden. Die Grenzfrequenz des dabei verwendeten, insbesondere digitalen Tiefpassfilters ist maximal der Kehrwert der Umlaufzeit des Suszeptors.

[0033] Die Integrationszeit zur Bildung der Mittelwerte M_1 , M_2 kann aber auch zumindest die Zeitdifferenz t_3 minus t_2 sein. Bei der Verwendung eines Tiefpassfilters ist die maximale Grenzfrequenz gleich dem Kehrwert dieser Zeitdifferenz, wobei die Zeitdifferenz die Zeit ist, um die die erste Temperatur T_1 der zweiten Temperatur T_2 nachläuft.

[0034] In Abhängigkeit von der Ausführung des CVD-Reaktors reagiert die Temperatur an den Messstellen T_1 bzw. T_2 zeitlich unterschiedlich auf eine Änderung der zugeführten Heizleistung. Dies führt zu einer Über- bzw. Unterschätzung des Rekalibrierungsfaktors in dynamischen Situationen. Mittels ge-

eigneter Filterung der Signale T_1 und T_2 lässt sich die zeitliche Antwort der gefilterten Größen T_1' und T_2' auf eine Heizleistungsänderung ausgleichen. Eine geeignete Filterung kann hierbei ein Tiefpassfilter sein. In einigen Ausführungsvarianten des Rekalibrierungs-Verfahrens genügt die Kombination der

5 Temperatursignale T_1 und T_2' bzw. T_1' und T_2 um den Rekalibrierungsfaktor in ausreichender Qualität zu gewinnen.

[0035] Es ist somit auch vorgesehen, dass eine wie oben beschrieben durchgeführte Mittelwertbildung nicht mit den unmittelbar gemessenen Temperaturen, sondern mit zuvor gefilterten Temperaturen durchgeführt wird. In einem nicht

10 dargestellten Ausführungsbeispiel kann das Gaseinlassorgan 12 ein Schowerhead sein, der sich über die gesamte Fläche des Suszeptors 6 erstreckt und auf seiner zum Suszeptor weisenden Breitseitenfläche eine Vielzahl von gleichmäßig verteilten Gasaustrittsdüsen aufweist, durch welche das Prozessgas in die Prozesskammer eintritt. Bei diesem Ausführungsbeispiel können die Substrate

15 8 unmittelbar auf der zur Prozesskammer weisenden Breitseitenflächen des Suszeptors 6 aufliegen. Mit der ersten Temperaturmesseinrichtung 2 wird an einer Messstelle 17 auf dem Substrat der erste Messwert T_1 ermittelt. Mit einer zweiten Temperaturmesseinrichtung 3 wird an einer Messstelle außerhalb des Substrates 8, also dort, wo der Suszeptor nicht mit dem Substrat 8 bedeckt ist,

20 ein zweiter Messwert einer Temperatur gemessen. Die zweite Messstelle kann auf derselben Breitseitenfläche des Suszeptors 6 liegen, auf der auch das Substrat 8 liegt. Es ist aber auch vorgesehen, dass die zweite Messstelle auf der Rückseite des Suszeptors 6 liegt, also auf der dem Substrat 8 gegenüber liegenden Seite des Suszeptors 6. Die zweite Temperaturmesseinrichtung 3 kann so-

25 mit auch unterhalb des Suszeptors 6 angeordnet sein.

[0036] In einem weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Suszeptor 6 oberhalb der Prozesskammer angeordnet, sodass die Substrate auf der

nach unten weisenden Breitseitenfläche des Suszeptors sitzen. Das Gaseinlassorgan kann dann auf der Unterseite des Suszeptors angeordnet sein. Auch bei dieser Anordnung ist es möglich, die ersten und zweiten Messwerte auf derselben Breitseitenfläche des Suszeptors 7 zu ermitteln oder die ersten und zweiten
5 Messwerte auf verschiedenen Seiten des Suszeptors 6 zu ermitteln, wobei der erste Messwert auf dem Substrat 8 und der zweite Messwert auf der Rückseite des Suszeptors 6 ermittelt werden kann.

[0037] In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass zumindest eine der Temperaturmesseinrichtungen ein Spektrometer ist, mit dem die Wellenlänge und insbesondere eine Peak-Wellenlänge einer Lichtemission gemessen werden kann. Es wird der Wert einer Frequenzspitze im Spektrum gemessen.
10

[0038] Es ist insbesondere vorgesehen, dass die Temperaturmesseinrichtung an Stelle des UV-Pyrometers eingesetzt wird, mit dem der Messwert der Temperatur auf dem Substrat 8 bestimmt wird. Die Temperatur des Substrates kann mit Bandkantenthermometrie (BET) ermittelt werden. Dies ist insbesondere bei Temperaturen unter 700 Grad Celsius von Vorteil. Dabei wird die erste Messstelle auf dem Substrat mit Licht beaufschlagt, beispielsweise wird weißes Licht oder ein Licht mit einem zumindest bereichsweise kontinuierlichen Spektrum
15 verwendet. Mit dem Spektrometer wird die Licht-Antwort des Substrates ermittelt. Die auf dem Substrat abgeschiedene Schicht luminesziert mit einer für den Bandabstand charakterisierten Frequenz. Diese Frequenz ist temperaturabhängig, sodass durch Bestimmen der Wellenlänge bzw. der Frequenz des von der auf dem Substrat abgeschiedenen Schicht emittierten Lichtes eine Substrattemperatur ermittelt werden kann. Diese ersten Messwerte T1 werden in
20 der oben beschriebenen Weise zur Regelung der Temperatur verwendet.

[0039] Die vorstehenden Ausführungen dienen der Erläuterung der von der Anmeldung insgesamt erfassten Erfindungen, die den Stand der Technik zumindest durch die folgenden Merkmalskombinationen jeweils auch eigenständig weiterbilden, wobei zwei, mehrere oder alle dieser Merkmalskombinationen auch kombiniert sein können, nämlich:

[0040] Ein Verfahren zur Temperaturregelung in einem CVD-Reaktor 1, bei dem mit einer ersten Temperaturmesseinrichtung 2 an einer ersten Messstelle 17 auf einem Substrat 8 erste Messwerte T_1 einer Temperatur und mit einer zweiten Temperaturmesseinrichtung 3 an einer zweiten Messstelle 18 außerhalb oder unterhalb des Substrates 8 zweite Messwerte T_2 einer Temperatur gemessen werden, wobei zur Bestimmung eines gegen einen Soll-Wert geregelten Ist-Wertes T_R zumindest aus zeitlich zurückliegenden ersten Messwerten T_1 ein Rekalibrierungsfaktor R_c gewonnen wird, der mit dem aktuellen zweiten Messwert T_2 multipliziert wird.

[0041] Ein CVD-Reaktor 1 mit einer ersten Temperaturmesseinrichtung 2, die so eingerichtet ist, dass sie an einer ersten Messstelle 17, die auf einem Substrat 8 angeordnet ist, erste Messwerte T_1 einer Temperatur liefert und mit einer zweiten Temperaturmesseinrichtung 3, die so eingerichtet ist, dass sie an einer zweiten Messstelle 18 außerhalb oder unterhalb des Substrates 8 gemessene zweite Messwerte T_2 einer Temperatur liefert, mit einer Regeleinrichtung 4 zur Temperaturregelung, wobei die Regeleinrichtung 4 so eingerichtet ist, dass zur Bestimmung eines gegen einen Soll-Wert geregelten Ist-Wertes T_R zumindest aus zeitlich zurückliegenden ersten Messwerten T_1 ein Rekalibrierungsfaktor R_c gewonnen wird, der mit dem aktuellen zweiten Messwert T_2 multipliziert wird.

[0042] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass der Rekalibrierungsfaktor R_c ein Quotient eines aus

zeitlich zurückliegenden ersten Messwerten T_1 gebildeten ersten Wertes M_1 und eines aus zurückliegenden zweiten Messwerten T_2 gebildeten zweiten Wertes M_2 ist.

[0043] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass eine charakteristische Zeit, um die der mindestens eine erste Messwert T_1 oder mindestens eine zweite Messwert T_2 gegenüber dem Zeitpunkt der Bestimmung des Ist-Wertes zurückliegt, die Zeit einer Umdrehung des Suszeptors um seine Drehachse ist oder eine Zeitdifferenz t_3 minus t_2 , um die sich der erste Messwert T_1 zeitverzögert gegenüber dem zweiten Messwert T_2 ändert und insbesondere nach einer Heizleistungsänderung wieder einen stationären Zustand einnimmt oder mindestens 10 Sekunden, mindestens 15 Sekunden, mindestens 20 Sekunden, mindestens 40 Sekunden, mindestens 60 Sekunden, mindestens 80 Sekunden, mindestens 100 Sekunden oder mindestens 120 Sekunden beträgt.

[0044] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass die Mittelwerte M_1 , M_2 über die charakteristische Zeit gebildet werden.

[0045] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass zur Bestimmung des Ist-Wertes T_R mit einem tiefpassgefilterte erste Messwerte T_1 und/oder zweite Messwerte T_2 verwendet werden, wobei die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters die reziproke charakteristische Zeit ist.

[0046] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass die Mittelwerte M_1 , M_2 aus tiefpassgefilterten ersten bzw. zweiten Messwerten T_1 , T_2 gebildet sind.

[0047] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass zur Bildung des Rekalibrierungsfaktors R_c ein zeitlich rückversetzter Mittelwert M_2 der zweiten Temperatur T_2 verwendet wird und insbesondere zusätzlich ein zeitlich rückversetzter Mittelwert M_1 der ersten
5 Temperatur T_1 verwendet wird.

[0048] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass der CVD-Reaktor 1 einen von seiner Unterseite mit einer Heizeinrichtung 5 beheizbaren Suszeptor aufweist, wobei die zweite Messstelle 18 einer Oberseite des Suszeptors 6, einer Unterseite des Suszeptors
10 6, dem Boden einer Tasche 13 im Suszeptor 6, in der ein Substrathalter 7 drehbar angeordnet ist, der zumindest ein Substrat 8 trägt, ein Punkt auf der Oberseite des Substrathalters 7 neben dem Substrat 8 oder einem unterhalb des Substrates 8 liegenden Ort auf dem Substrathalter 7 zugeordnet ist.

[0049] Ein Verfahren oder ein CVD-Reaktor 1, welches oder welcher, dadurch gekennzeichnet ist, dass die ersten und zweiten Temperaturmesseinrichtungen
15 2, 3 Pyrometer sind, deren optische Wege 14, 15 durch Öffnungen 10, 11 einer Prozesskammerdecke 9 hindurchtreten und/oder dass die erste Messeinrichtung 2 zur Messung des ersten Messwertes T_1 , der einer Substrattemperatur entspricht, ein UV-Pyrometer ist und dass die zweite Temperaturmesseinrichtung 3, die einen Messwert der Temperatur des Substrathalters 7 oder des Suszeptors 6 liefert, ein IR-Pyrometer ist und/oder dass zur Messung der zweiten
20 Temperatur T_2 ein Thermoelement insbesondere an der Unterseite des Suszeptor 6 verwendet wird.

Liste der Bezugszeichen

1	CVD-Reaktor	M_1	erster Mittelwert
2	Temperaturmesseinrichtung	M_2	zweiter Mittelwert
3	Temperaturmesseinrichtung	T_1	erster Messwert
4	Regeleinrichtung	T_2	zweiter Messwert
5	Heizeinrichtung	T_1'	tiefpassgefilterte Temperatur
6	Suszeptor	T_2'	tiefpassgefilterte Temperatur
7	Substrathalter	t_1	Zeitpunkt
8	Substrat	t_2	Zeitpunkt
9	Prozesskammerdecke	t_3	Zeitpunkt
10	Öffnung	T_R	Temperatur-Ist-Wert
11	Öffnung	R_c	Rekalibrierungsfaktor
12	Gaseinlassorgan		
13	Tasche		
14	optischer Weg		
15	optischer Weg		
16	Drehachse		
17	erste Messstelle		
18	zweite Messstelle		

Ansprüche

1. Verfahren zur Temperaturregelung in einem CVD-Reaktor (1), bei dem mit einer ersten Temperaturmesseinrichtung (2) an einer ersten Messstelle (17) auf einem Substrat (8) erste Messwerte (T_1) einer Temperatur und mit einer zweiten Temperaturmesseinrichtung (3) an einer zweiten Messstelle (18) außerhalb oder unterhalb des Substrates (8) zweite Messwerte (T_2) einer Temperatur gemessen werden, wobei zur Bestimmung eines gegen einen Soll-Wert geregelten Ist-Wertes (T_R) zumindest aus zeitlich zurückliegenden ersten Messwerten (T_1) ein Rekalibrierungsfaktor (R_c) gewonnen wird, der mit dem aktuellen zweiten Messwert (T_2) multipliziert wird.

5
- 10 2. CVD-Reaktor (1) mit einer ersten Temperaturmesseinrichtung (2), die so eingerichtet ist, dass sie an einer ersten Messstelle (17), die auf einem Substrat (8) angeordnet ist, erste Messwerte (T_1) einer Temperatur liefert und mit einer zweiten Temperaturmesseinrichtung (3), die so eingerichtet ist, dass sie an einer zweiten Messstelle (18) außerhalb oder unterhalb des Substrates (8) gemessene zweite Messwerte (T_2) einer Temperatur liefert, mit einer Regeleinrichtung (4) zur Temperaturregelung, wobei die Regeleinrichtung (4) so eingerichtet ist, dass zur Bestimmung eines gegen einen Soll-Wert geregelten Ist-Wertes (T_R) zumindest aus zeitlich zurückliegenden ersten Messwerten (T_1) ein Rekalibrierungsfaktor (R_c) gewonnen wird, der mit dem aktuellen zweiten Messwert (T_2) multipliziert wird.

15

20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder CVD-Reaktor (1) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Rekalibrierungsfaktor (R_c) ein Quotient eines aus zeitlich zurückliegenden ersten Messwerten (T_1) gebildeten ersten Wertes (M_1) und eines aus zurückliegenden zweiten Messwerten (T_2) gebildeten zweiten Wertes (M_2) ist.

25

4. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine charakteristische Zeit, um die der mindestens eine erste Messwert (T_1) oder mindestens eine zweite Messwert (T_2) gegenüber dem Zeitpunkt der Bestimmung des Ist-Wertes zurückliegt, die Zeit einer Umdrehung des Suszeptors um seine Drehachse ist oder eine Zeitdifferenz (t_3) minus (t_2), um die sich der erste Messwert (T_1) zeitverzögert gegenüber dem zweiten Messwert (T_2) ändert und insbesondere nach einer Heizleistungsänderung wieder einen stationären Zustand einnimmt oder mindestens 10 Sekunden, mindestens 15 Sekunden, mindestens 20 Sekunden, mindestens 40 Sekunden, mindestens 60 Sekunden, mindestens 80 Sekunden, mindestens 100 Sekunden oder mindestens 120 Sekunden beträgt.
5. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittelwerte (M_1 , M_2) über die charakteristische Zeit gebildet werden.
6. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des Ist-Wertes (T_R) mit einem tiefpassgefilterte erste Messwerte (T_1) und/oder zweite Messwerte (T_2) verwendet werden, wobei die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters die reziproke charakteristische Zeit ist.
7. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittelwerte (M_1 , M_2) aus tiefpassgefilterten ersten bzw. zweiten Messwerten (T_1 , T_2) gebildet sind.
8. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bildung des Rekalibrierungsfaktors

(Rc) ein zeitlich rückversetzter Mittelwert (M_2) der zweiten Temperatur (T_2) verwendet wird und insbesondere zusätzlich ein zeitlich rückversetzter Mittelwert (M_1) der ersten Temperatur (T_1) verwendet wird.

- 5 9. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der CVD-Reaktor (1) einen von seiner Unterseite mit einer Heizeinrichtung (5) beheizbaren Suszeptor aufweist, wobei die zweite Messstelle (18) einer Oberseite des Suszeptors (6), einer Unterseite des Suszeptors (6), dem Boden einer Tasche (13) im Suszeptor (6), in der ein Substrathalter (7) drehbar angeordnet ist, der zu-
- 10 mindest ein Substrat (8) trägt, ein Punkt auf der Oberseite des Substralthalters (7) neben dem Substrat (8) oder einem unterhalb des Substrates (8) liegenden Ort auf dem Substrathalter (7) zugeordnet ist.
- 15 10. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten und/oder zweiten Temperaturmesseinrichtungen (2, 3) Spektrometer sind, mit denen eine Frequenzspitze im von der Messstelle emittierten Licht gemessen wird und/oder dass zur Ermittlung der ersten Messwerte T_1 die Bandkanten-
- 20 thermometrie verwendet wird.
- 25 11. Verfahren oder CVD-Reaktor (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten und zweiten Temperaturmesseinrichtungen (2, 3) Pyrometer sind, deren optische Wege (14, 15) durch Öffnungen (10, 11) einer Prozesskammerdecke (9) hindurchtreten und/oder dass die erste Messeinrichtung (2) zur Messung des ersten Messwertes (T_1), der einer Substrattemperatur entspricht, ein UV-Pyrometer ist und dass die zweite Temperaturmesseinrichtung (3), die einen Messwert der Temperatur des Substralthalters (7) oder des Suszeptors (6)

liefert, ein IR-Pyrometer ist und/oder dass zur Messung der zweiten Temperatur (T_2) ein Thermoelement insbesondere an der Unterseite des Suszeptor (6) verwendet wird.

12. CVD-Reaktor (1) oder Verfahren zur Temperaturregelung in einem CVD-Reaktor (1), gekennzeichnet durch eines oder mehrere der kennzeichnenden Merkmale eines der vorhergehenden Ansprüche.
- 5

Fig. 1

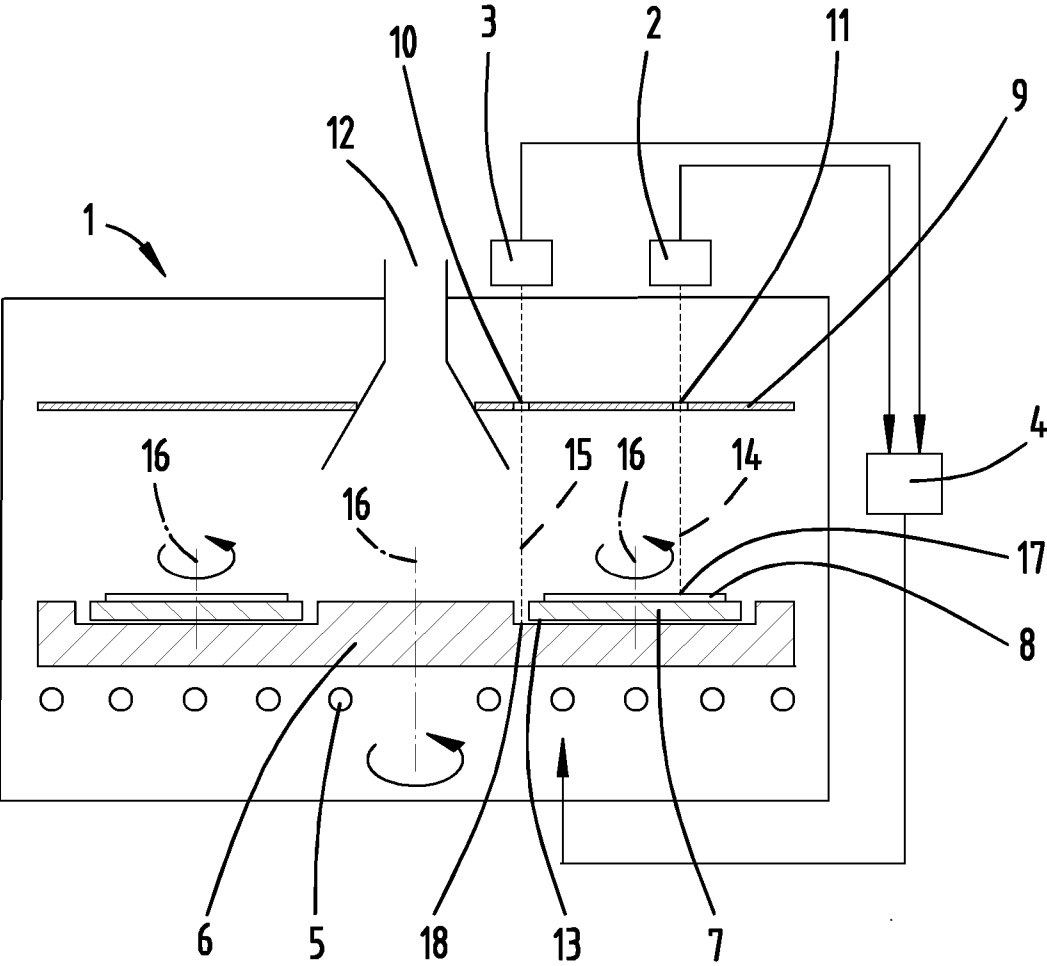


Fig. 2

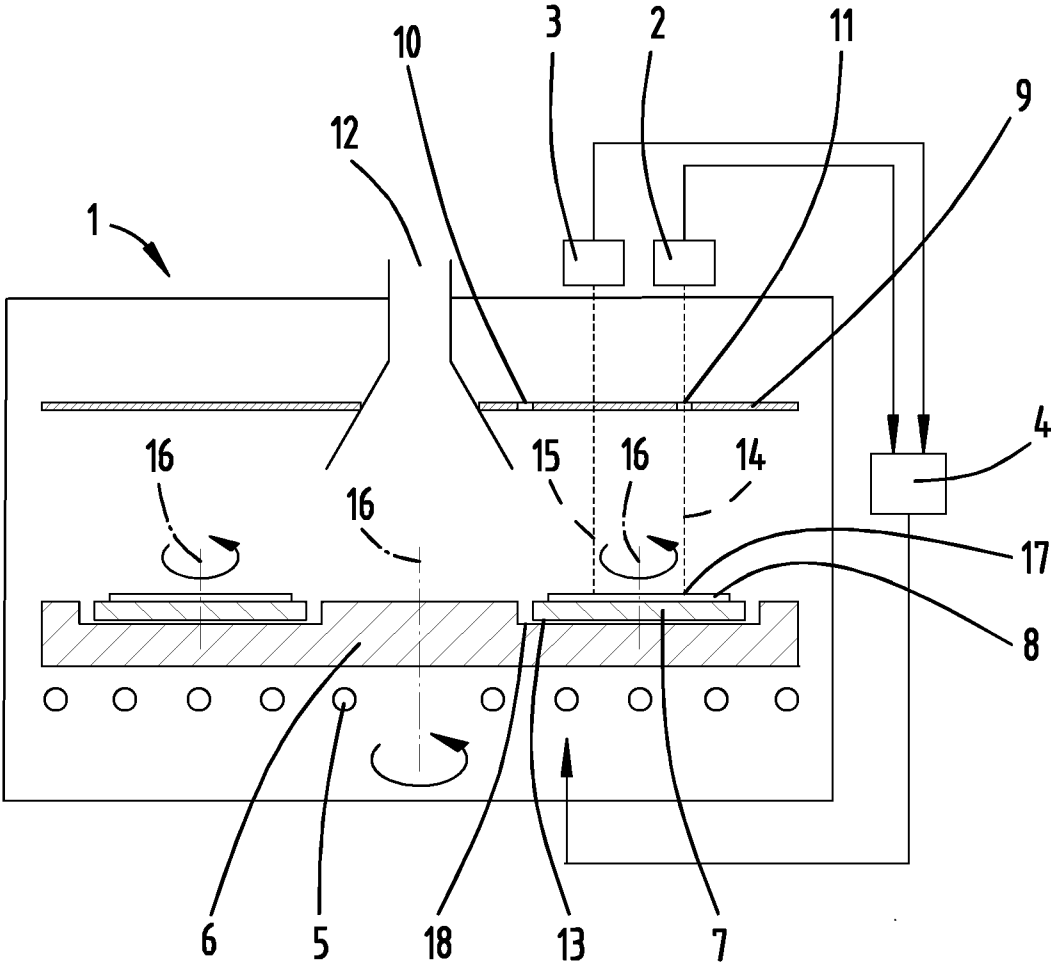
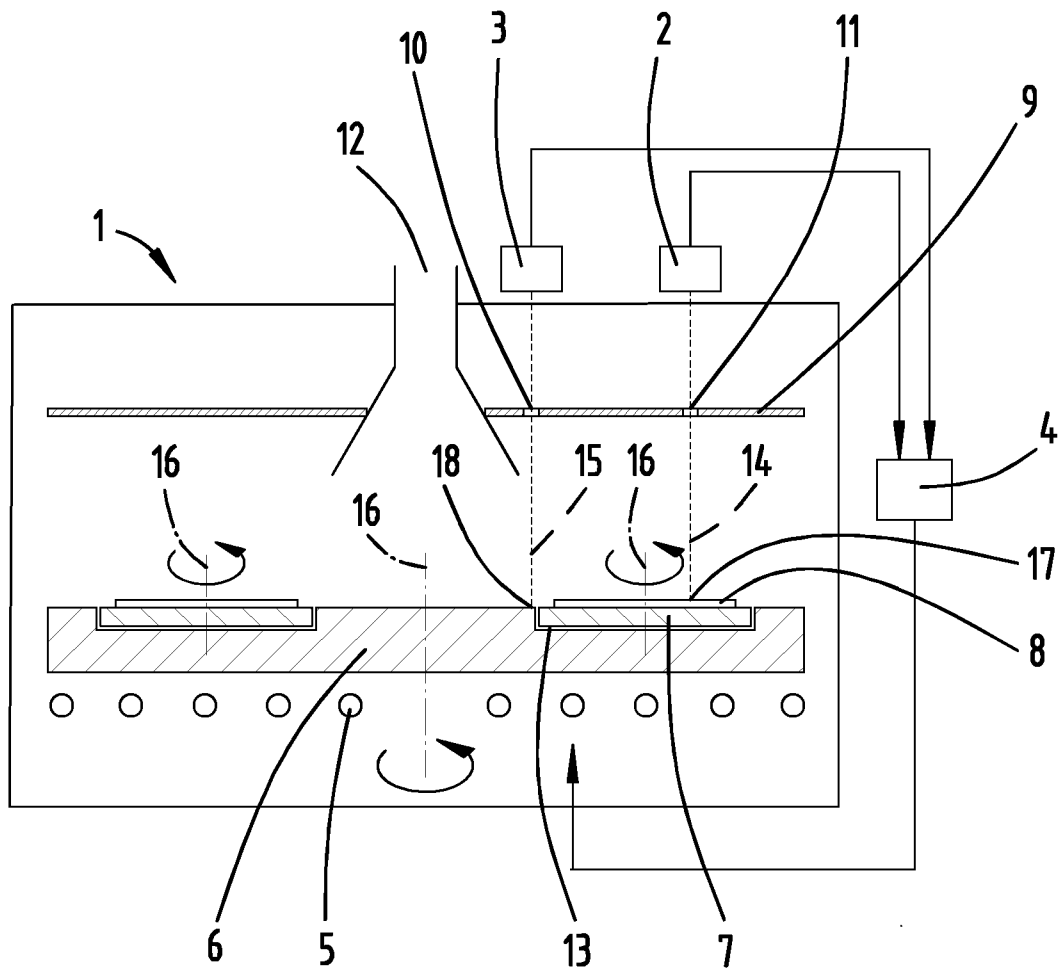
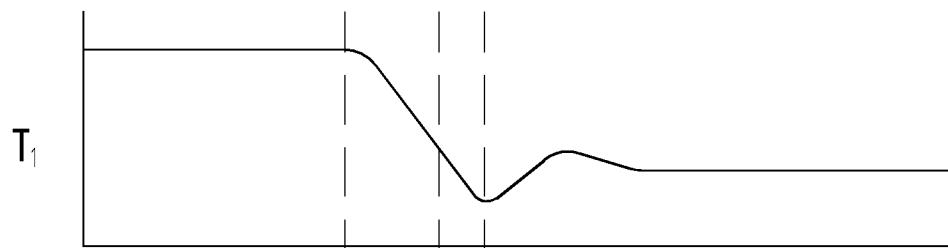
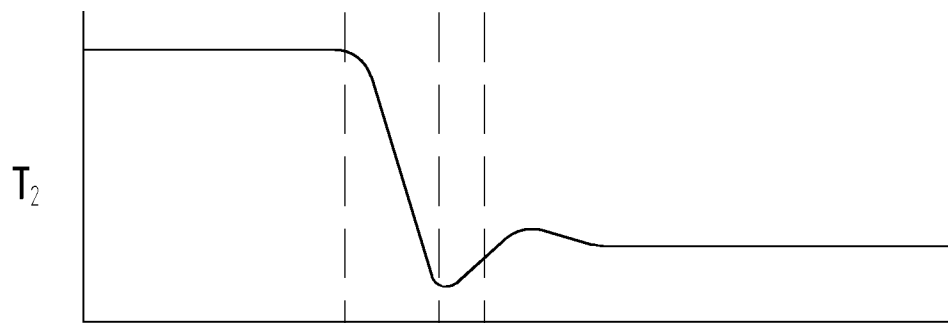
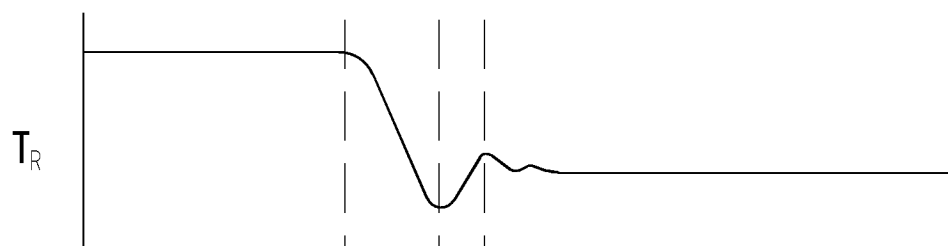
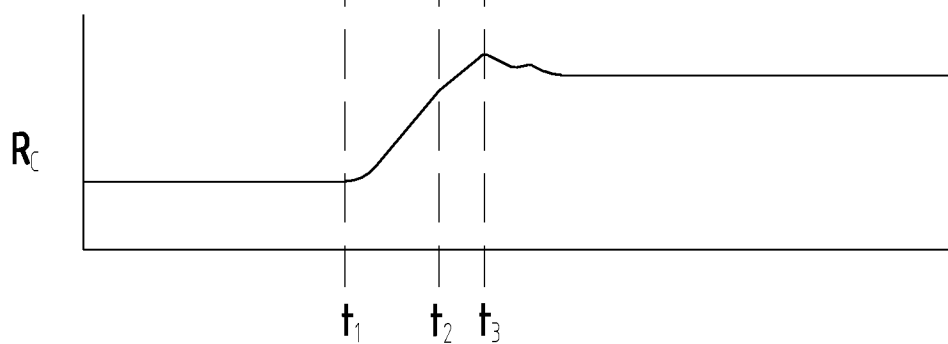


Fig: 3



4/4

Fig. 4a***Fig. 4b******Fig. 4c******Fig. 4d***

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/077648

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01J 5/00**(2006.01)i

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)

G01J

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015091371 A1 (AIXTRON SE [DE]) 25 June 2015 (2015-06-25) page 11, line 4 - page 12, line 21; figures 1,3	1-12
X	WO 2018166955 A1 (AIXTRON SE [DE]) 20 September 2018 (2018-09-20) paragraph [0011]; figure 1	1-12
A	US 2018114680 A1 (KIM HYEONGEU [US] ET AL) 26 April 2018 (2018-04-26) paragraph [0035]	11
A	US 6191399 B1 (VAN BILSEN FRANK B M [US]) 20 February 2001 (2001-02-20) figure 4	11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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 application or patent 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

20 January 2020

Date of mailing of the international search report

27 January 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Haan, Martine

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/077648

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2015091371	A1	25 June 2015	CN	105934659	A	07 September 2016
				DE	102013114412	A1	18 June 2015
				KR	20160100314	A	23 August 2016
				TW	201529884	A	01 August 2015
				US	2016333479	A1	17 November 2016
				WO	2015091371	A1	25 June 2015
WO	2018166955	A1	20 September 2018	DE	102017105333	A1	20 September 2018
				TW	201843344	A	16 December 2018
				WO	2018166955	A1	20 September 2018
US	2018114680	A1	26 April 2018	KR	20180045852	A	04 May 2018
				TW	201816179	A	01 May 2018
				US	2018114680	A1	26 April 2018
US	6191399	B1	20 February 2001	JP	5173092	B2	27 March 2013
				JP	2001257169	A	21 September 2001
				US	6191399	B1	20 February 2001
				US	2001010309	A1	02 August 2001
				US	2003080112	A1	01 May 2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01J5/00

ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01J

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)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2015/091371 A1 (AIXTRON SE [DE]) 25. Juni 2015 (2015-06-25) Seite 11, Zeile 4 - Seite 12, Zeile 21; Abbildungen 1,3 -----	1-12
X	WO 2018/166955 A1 (AIXTRON SE [DE]) 20. September 2018 (2018-09-20) Absatz [0011]; Abbildung 1 -----	1-12
A	US 2018/114680 A1 (KIM HYEONGEU [US] ET AL) 26. April 2018 (2018-04-26) Absatz [0035] -----	11
A	US 6 191 399 B1 (VAN BILSEN FRANK B M [US]) 20. Februar 2001 (2001-02-20) Abbildung 4 -----	11



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. Januar 2020

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

27/01/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Haan, Martine

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/077648

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie			Datum der Veröffentlichung
WO 2015091371	A1	25-06-2015	CN	105934659	A	07-09-2016
			DE	102013114412	A1	18-06-2015
			KR	20160100314	A	23-08-2016
			TW	201529884	A	01-08-2015
			US	2016333479	A1	17-11-2016
			WO	2015091371	A1	25-06-2015

WO 2018166955	A1	20-09-2018	DE	102017105333	A1	20-09-2018
			TW	201843344	A	16-12-2018
			WO	2018166955	A1	20-09-2018

US 2018114680	A1	26-04-2018	KR	20180045852	A	04-05-2018
			TW	201816179	A	01-05-2018
			US	2018114680	A1	26-04-2018

US 6191399	B1	20-02-2001	JP	5173092	B2	27-03-2013
			JP	2001257169	A	21-09-2001
			US	6191399	B1	20-02-2001
			US	2001010309	A1	02-08-2001
			US	2003080112	A1	01-05-2003
