



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 06 082 T2 2004.02.19**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 097 111 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 06 082.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/15852**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 933 984.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/02824**

(86) PCT-Anmeldetag: **13.07.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **20.01.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **19.03.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.02.2004**

(51) Int Cl.⁷: **C03B 29/02**

**C23C 16/50, H01L 21/314, C23C 16/30,
G05D 23/19**

(30) Unionspriorität:

115112 13.07.1998 US

(73) Patentinhaber:

**AKT, Inc., Tokio/Tokyo, JP; Beer, Emanuel, San
Jose, Calif., US**

(74) Vertreter:

v. Fünér Ebbinghaus Finck Hano, 81541 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

BE, DE, FR, GB, NL

(72) Erfinder:

**BEER, Emanuel, San Jose, US; SHEN, Duoyan,
San Jose, US; ZOHAR, Eitan, Cupertino, US;
KOLLRACK, M., Marc, San Francisco, US**

(54) Bezeichnung: **BEHEIZEN EINES SUBSTRATTRÄGERS IN EINEM SUBSTRATBEHANDLUNGSRAUM**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich insgesamt auf Substrathandhabungs- und –behandlungskammern, und insbesondere auf das Erhitzen eines Substratträgers in solchen Kammern.

[0002] Für Anwendungen, wie Fernsehen mit aktiver Matrix und Rechnerbildschirmen, werden unter anderem Glassubstrate eingesetzt. Jedes Glassubstrat kann Mehrfachbildschirmmonitore bilden, von denen jeder mehr als eine Million Dünnschichttransistoren enthält.

[0003] Die Glassubstrate können Abmessungen von beispielsweise 550 mm mal 650 mm haben. Die Tendenz geht jedoch zu noch größeren Substratgrößen, wie 650 mm mal 830 mm und mehr, um die Ausbildung von mehr Bildschirmen auf dem Substrat oder die Fertigung von größeren Bildschirmen zu ermöglichen. Die größeren Abmessungen bedingen noch größere Anforderungen an die Fähigkeiten des Behandlungssystems.

[0004] Die Behandlung großer Glassubstrate schließt häufig die Durchführung mehrerer aufeinander folgender Schritte ein, zu denen beispielsweise die Ausführung von chemischen Gasphasenabscheidungsprozessen (CVD), von physikalischen Gasphasenabscheidungsprozessen (PVD) oder Ätzprozessen gehören. Systeme zum Behandeln von Glassubstraten können eine oder mehrere Behandlungskammern zur Durchführung dieser Prozesse aufweisen.

[0005] Die plasmaverstärkte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD) ist ein weiterer Prozess, der in weitem Umfang bei der Behandlung von Glassubstraten zur Abscheidung von Schichten elektronischer Materialien auf den Substraten verwendet wird. Bei einem PECVD-Prozess wird ein Substrat in einer Vakuumabscheidungskammer angeordnet, das mit einem Paar von parallelen Plattenelektroden versehen ist. Das Substrat wird im Allgemeinen auf einem Suszeptor angebracht, der auch als untere Elektrode dient. Durch einen Gaseinlassverteiler, der auch als obere Elektrode dient, wird ein Strom eines Reaktionsteilnehmergases in der Abscheidungskammer vorgesehen. Zwischen den beiden Elektroden wird eine Hochfrequenz-(HF-)Spannung angelegt, die eine HF-Leistung erzeugt, die ausreicht, die Bildung eines Plasmas in dem Reaktionsteilnehmergas herbeizuführen. Das Plasma führt zu einer Zersetzung des Reaktionsteilnehmergases und zu einer Abscheidung einer Schicht des gewünschten Materials auf der Oberfläche des Substratskörpers. Es können weitere Schichten anderer elektronischer Materialien auf die erste Schicht aufgebracht werden, indem ein weiteres Reaktionsteilnehmergas in die Kammer strömen gelassen wird. Jedes Reaktionsteilnehmergas wird einem Plasma ausgesetzt, das zum Abscheiden einer Schicht des gewünschten Materials führt.

[0006] Einige der Behandlung von großen Glassubstraten zugeordneten Probleme entstehen aufgrund

ihrer ungewöhnlichen thermischen Eigenschaften. Beispielsweise macht es die niedrige Wärmeleitfähigkeit von Glas schwieriger, das Substrat gleichförmig zu erhitzen oder abzukühlen. Insbesondere sind die Wärmeverluste in der Nähe der Ränder eines großflächigen dünnen Substrats größer als in der Nähe des Zentrums des Substrats, was zu einem nicht gleichförmigen Temperaturgradienten über dem Substrat führt. Die thermischen Eigenschaften des Glassubstrats kombiniert mit seiner Größe machen es deshalb schwieriger, gleichförmige Eigenschaften für die elektronischen Komponenten zu erhalten, die auf unterschiedlichen Abschnitten der Oberfläche des behandelten Substrats gebildet werden. Darüber hinaus ist ein schnelles und gleichförmiges Erhitzen oder Abkühlen der Substrate als Folge ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit schwieriger, wodurch sich besondere Herausforderungen bezüglich der Erzielung eines hohen Durchsatzes ergeben.

[0007] Als Beitrag zum Erzielen einer gleichförmigeren Temperatur über großen Substraten hat man Suszeptoren mit mehreren Heizelementen verwendet. Beispielsweise haben einige Suszeptoren innere und äußere Heizelemente. Die Verwendung von mehreren Heizelementen führt jedoch gelegentlich dazu, dass sich der Suszeptor verformt, wenn er sich aufheizt. Ein Grund für die Verformung ist die Temperaturdifferenz, die zwischen den inneren und äußeren Heizelementen auftreten kann. Wenn die Temperaturdifferenz oder der Abstand groß wird, können die Wärmespannungen in dem Suszeptor zu dessen Verformung und in manchen Fällen sogar zu dessen Bruch führen.

[0008] Die Erfindung stellt eine thermische Substratbehandlungsvorrichtung mit einer Behandlungskammer, mit einem Substrathalter, der in der Kammer angeordnet ist und ein erstes und ein zweites Heizelement zum Erhitzen des Substrathalters aufweist, und mit einer Steuereinrichtung zum Steuern der Temperatur der Heizelemente bereit, wobei die Steuereinrichtung die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements so steuert, dass, wenn eine Temperaturdifferenz zwischen dem ersten und zweiten Heizelement am Anfang einen vorgegebenen Wert überschreitet, die Differenz dazu gebracht wird, dass sie kleiner ist als der vorgegebene Wert, und wobei die Steuereinrichtung die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements so steuert, dass, während die Temperatur der Heizelemente auf die jeweiligen Endtemperatur-Sollwerte erhöht werden, die Differenz zwischen der Temperatur des ersten Heizelements und der Temperatur des zweiten Heizelements den vorgegebenen Wert nicht überschreitet.

[0009] Bei einigen Ausgestaltungen sind das erste und das zweite Heizelement ein inneres und ein äußeres Heizelement, die jeweils in dem Substrat eingebettet sind. Zusätzlich können die Heizelemente unterschiedliche Heizleistungen haben. Beispielsweise hat bei einer Ausgestaltung das zweite Heizelement eine Heizleistung, die größer ist als die Heiz-

leistung des ersten Heizelements.

[0010] Die beschriebenen Verfahren sind nicht auf einen Substratträger begrenzt, der nur zwei Heizelemente hat. Stattdessen sind die Techniken zum Beheizen von Substratträgern mit mehr als zwei Heizelementen oder mehr als zwei Heizzonen anwendbar.

[0011] Zusätzlich können bei den verschiedenen Ausgestaltungen eine oder mehrere Endtemperatur-Sollwerte für die Heizelemente, die vorgegebene Aufheizgeschwindigkeit R und der vorgegebene Wert ΔT vom Benutzer so gewählt werden, dass eine flexible Technik bereitgestellt wird, die leicht für unterschiedliche Systeme und Ausgestaltungen modifiziert werden kann.

[0012] Verschiedene Ausführungen haben einen oder mehrere der folgenden Vorteile. Die Geschwindigkeit, mit der die Zwischentemperatur-Sollwerte für jedes der Heizelemente erhöht wird, ist so ausgelegt, dass sie so hoch wie die vorgegebene Aufheizgeschwindigkeit innerhalb der Grenzen ist, beispielsweise der Möglichkeiten der Heizelemente. Jedes Mal, wenn sich die Heizelemente den momentanen Zwischensollwerten annähern, können die Zwischensollwerte erhöht werden, wodurch ein relativ hoher Arbeitszyklus aufrechterhalten wird. Die Aufrechterhaltung eines begrenzten Temperaturabstands zwischen den Heizelementen und die Steigerung der Zwischentemperatur-Sollwerte zu den Endsollwerten hin sorgt für einen Wärmeübergang von dem Heizelement mit der größeren Heizleistung zum Heizelement mit der niedrigeren Heizleistung hin. Das Heizelement mit der größeren Heizleistung arbeitet deshalb mit einem Leistungszyklus, der höher ist als der Leistungszyklus, den es nur für sein eigenes Heizen verwendet haben würde. Mit anderen Worten, die Leistung des Heizelements mit der größeren Kapazität wird dazu verwendet, die Temperatur der Bereiche des Substratträgers in der Nähe des Heizelements mit der geringeren Heizkapazität zu erhöhen.

[0013] Durch Begrenzen der Differenz zwischen den Zwischentemperatur-Sollwerten auf einen vorgegebenen Wert wird darüber hinaus die Wahrscheinlichkeit verringert, dass die Temperaturdifferenz zwischen den Heizelementen den vorgegebenen Wert ΔT überschreitet. Dies wiederum kann die Wahrscheinlichkeit einer Verformung eines Bruchs des Substratträgers wesentlich reduzieren, wenn der vorgegebene Wert ΔT sorgfältig ausgewählt wird.

[0014] Die Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Erhitzen eines Substratträgers schließt das Einstellen entsprechender Endtemperatur-Sollwerte für das erste und das zweite Heizelement des Substratträgers ein. Die Differenz in den Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements wird dazu gebracht, dass sie kleiner ist als ein vorgegebener Wert ΔT , wenn die Differenz am Anfang den vorgegebenen Wert überschreitet. Die Temperaturen der Heizelemente werden dann auf ihre entsprechenden Endtemperatur-Sollwerte T_{F1} , T_{F2} basierend auf einer vorgegebenen Aufheizgeschwindigkeit R ange-

hoben. Außerdem werden die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements so gesteuert, dass die Differenz zwischen den Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements den vorgegebenen Wert ΔT nicht überschreitet, während die Temperaturen der Heizelemente auf ihre entsprechenden Endtemperatur-Sollwerte angehoben werden.

[0015] Im Allgemeinen brauchen die Endtemperatur-Sollwerte der Heizelemente nicht die gleichen zu sein. Das Steuern der Temperaturen der Heizelemente kann das Einstellen eines ersten Zwischentemperatur-Sollwerts für das erste Heizelement und das Einstellen eines zweiten Zwischentemperatur-Sollwerts für das zweite Heizelement umfassen. Der zweite Zwischensollwert hängt von dem Momentanwert des ersten Zwischensollwerts und dem vorgegebenen Wert ΔT ab. Die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements werden dann auf, ihre jeweiligen Zwischentemperatur-Sollwerte für einen vorgegebenen Verzögerungszeitraum angehoben. Am Ende des Verzögerungszeitraums können neue Zwischensollwerte eingestellt und der Vorgang kann wiederholt werden, bis die Temperatur wenigstens eines der Heizelemente (erstes und zweites) innerhalb einer vorgegebenen Größe des jeweiligen Endsollwertes liegt.

[0016] Bei einigen Ausführungen wird der zweite Zwischenwert, der für das zweite Heizelement verwendet wird, so eingestellt, dass er gleich dem Momentanwert des ersten Zwischensollwerts plus dem vorgegebenen Wert ΔT ist. Der Wert des ersten Zwischensollwerts kann von der Momentantemperatur des ersten Heizelements und der vorgegebenen Aufheizgeschwindigkeit R abhängen. Beispielsweise kann der erste Zwischensollwert so eingestellt werden, dass er gleich der Summe aus der Momentantemperatur des ersten Heizelements und aus dem Wert der vorgegebenen Aufheizgeschwindigkeit R ist.

[0017] Weitere Merkmale und Vorteile werden aus der folgenden, ins Einzelne gehenden Beschreibung unter Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen ersichtlich, in denen

[0018] **Fig. 1** eine beispielsweise thermische Abscheidungskammer zeigt,

[0019] **Fig. 2** einen beispielsweise Substratträger für die Kammer von **Fig. 1** zeigt,

[0020] **Fig. 3** ein Glassubstrat zeigt, das auf dem Substratträger von **Fig. 2** angeordnet ist,

[0021] **Fig. 4** ein Steuersystem zum Steuern der Temperatur des Substratträgers von **Fig. 2** nach der Erfindung zeigt, und

[0022] **Fig. 5A** und **5B** Ablaufdiagramme sind, die ein Verfahren zum Erhitzen des Substratträgers von **Fig. 2** nach der Erfindung darstellen.

[0023] Gemäß **Fig. 1** hat eine Vorrichtung **10** für die plasmaverstärkte chemische Gasphasenabscheidung eine Abscheidungskammer **12** mit einer Öffnung durch eine obere Wand **14** und eine erste Elektrode oder einen Gaseinlassverteiler **16** in der Öffnung. Al-

ternativ kann die obere Wand **14** massiv sein und sich die Elektrode **16** angrenzend an der Innenfläche der oberen Wand befinden. Ein Substratträger, wie ein Suszeptor **18** in Form einer Platte, erstreckt sich innerhalb der Kammer **12** parallel zur ersten Elektrode **16**. Der Suszeptor **18** besteht aus Aluminium und kann mit einer Schicht aus Aluminiumoxid überzogen sein. In den Suszeptor **18** sind ein erstes oder inneres Heizelement **46** und ein zweites oder äußeres Heizelement **48** (Fig. 2) eingebettet, die beispielsweise von Heizwicklungen gebildet werden können. Bei einigen Ausgestaltungen brauchen die Heizelemente **46**, **48** nicht in den Suszeptor **18** eingebettet zu werden, solange sie in einem thermischen Kontakt mit dem Suszeptor oder einem anderen Substratträger stehen.

[0024] Obwohl die Heizkapazität der Heizelemente **46**, **48** die gleiche sein kann, hat bei einer Ausgestaltung das äußere Heizelement **48** eine relativ hohe Heizleistung, während das innere Heizelement **46** eine relativ geringe Heizleistung hat. Bei der gezeigten Ausführung wird beispielsweise das äußere Heizelement **48** mit etwa 40 Kilowatt (kW) gespeist, während dem inneren Heizelement **46** etwa 20 kW zugeführt werden. Die Bereitstellung von mehr Leistung für das äußere Heizelement **48** kann zum Ausgleich von Wärmeverlusten beitragen, die gewöhnlich nahe am Außenumfang des Suszeptors **18** größer sind. Bei anderen Ausgestaltungen kann jedoch das innere Heizelement **46** mit einer höheren Leistung als das äußere Heizelement **48** beaufschlagt werden, während die Rolle des inneren und äußeren Heizelements **46**, **48** vertauscht werden kann. Damit die Heizelemente **46**, **48** unterschiedliche Leistungsquellen haben, können unterschiedliche Leistungsquellen verwendet werden. Alternativ kann eine gemeinsame Quelle verwendet werden, wobei die Heizleistung der Heizelemente **46**, **48** dadurch verschieden gemacht wird, dass die Heizelemente aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. Die Wahl, welches Heizelement mit einer größeren Heizleistung versehen werden soll, hängt unter anderem von der Größe der jeweiligen Zonen an dem Suszeptor **18** ab, die die Heizelemente **46**, **48** aufheizen sollen. Auf jeden Fall kann die Bereitstellung der Heizelemente **46**, **48** mit unterschiedlichen Heizleistungen bei der Behandlung von Glassubstraten besondere Bedeutung haben, die Abmessungen von 650 mm mal 830 mm und mehr aufweisen, und zwar aufgrund der großen Abmessung solcher Substrate sowie der thermischen Eigenschaften des Glases.

[0025] Der Suszeptor **18** ist mit Masse verbunden, so dass er als zweite Elektrode wirkt, und ist am Ende eines Schaftes **20** (Fig. 1) angebracht, der sich vertikal durch eine Bodenwand **22** der Kammer **12** erstreckt. Der Schaft **20** ist vertikal beweglich, damit der Suszeptor **18** die Vertikalbewegung zu der ersten Elektrode **16** hin und von ihr weg ausführen kann.

[0026] Zwischen dem Suszeptor **18** und der unteren Wand **22** der Kammer **12** erstreckt sich horizontal

eine Abhebeplatte **24** im Wesentlichen parallel zum Suszeptor und ist vertikal beweglich. Von der Abhebeplatte **24** stehen Abhebestifte **26** vertikal nach oben. Die Abhebestifte **26** sind so positioniert, dass sie sich durch Hublöcher **28** in dem Suszeptor **18** erstrecken können, wobei ihre Länge etwas größer ist als die Dicke des Suszeptors. Obwohl nur zwei Abhebestifte **26** in Fig. 1 gezeigt sind, können zusätzliche Abhebestifte im Abstand um die Abhebeplatte **24** herum vorgesehen werden.

[0027] Durch eine Seitenwand **32** der Kammer **12** erstreckt sich ein Gasauslass **30**, der mit einem System (nicht gezeigt) zum Evakuieren der Kammer verbunden ist. In den Gaseinlassverteiler **16** erstreckt sich ein Gaseinlassrohr **42**, das über ein Gasumschaltnetzwerk mit Quellen verschiedener Gase (nicht gezeigt) verbunden ist. Die erste Elektrode **16** ist mit einer HF-Leistungsquelle **36** verbunden. Zum Transportieren eines Substrats **38** durch eine Ladeschleusentür in die Abscheidungskammer **12** kann ein Überführungsmechanismus (nicht gezeigt) vorgesehen werden, in der das Substrat auf den Suszeptor **18** überführt werden kann (Fig. 1 und 3). Der Überführungsmechanismus kann auch zum Entfernen des behandelten Substrats aus der Kammer verwendet werden.

[0028] Vor dem Überführen eines Substrats **38** auf den Suszeptor **18** wird der Suszeptor auf eine gewünschte Temperatur von beispielsweise etwa 400°C vorerhitzt. Wie im Einzelnen nachstehend näher beschrieben wird, steuert eine Temperaturregelung **50** (Fig. 4), beispielsweise ein Rechner oder ein anderer Prozessor, die Temperatur der Heizelemente **46**, **48**. Die Steuerung **50** ist mit einer Software programmiert und so gestaltet, dass sie die nachstehend beschriebenen Funktionen ausführt. Zum Messen der Temperatur der Heizelemente **46**, **48** können Thermoelemente **52** verwendet werden, die mit der Steuerung **50** verbunden sind, um diese Informationen für die Steuerung zu liefern.

[0029] Die Software erlaubt einem Benutzer die Eingabe von Werten für mehrere Variablen, einschließlich von Endsollwerten T_{F1} , T_{F2} für die Temperatur des inneren und äußeren Heizelements **46**, **48**. Die Werte der vom Benutzer definierten Variablen können beispielsweise unter Verwendung einer Tastatur **44** oder einer anderen Eingabevorrichtung eingegeben werden, die mit der Steuerung **50** verbunden ist. Die Endsollwerte T_{F1} , T_{F2} für die Heizelemente **46**, **48** können sich voneinander unterscheiden. Die Bereitstellung von unterschiedlichen Sollwerten ermöglicht es, dass der Wärmestrom von einem Bereich des Suszeptors **18** zu einem anderen genauer gesteuert werden kann, was nachstehend im Einzelnen näher beschrieben ist. Ein solcher Wärmestrom kann zum Kompensieren der großen Abmessung und der relativ schlechten Wärmeeigenschaften von Glassubstraten erwünscht sein.

[0030] Die Software erlaubt es dem Benutzer auch, den Wert einer Aufheizgeschwindigkeit R auszuwäh-

len, der eine annähernde Geschwindigkeit ($^{\circ}\text{C}/\text{Minute}$) definiert, mit der die Temperaturen der Heizelemente **46**, **48** zunehmen. Bei einer beispielsweise Ausführungsform wird R auf 10°C pro Minute eingestellt. Eine Sperre in der Software verhindert, dass ein Wert für R verwendet wird, wenn dieser das System überhitzen oder auf andere Weise beschädigen würde. Wenn ein Wert R vom Benutzer ausgewählt ist, der eine maximale Geschwindigkeit überschreitet, kann das System abgeschaltet werden oder es kann ein maximaler Standardwert für die Geschwindigkeit R verwendet werden.

[0031] Bei einigen Ausführungen gibt der Benutzer auch einen maximal zulässigen Wert für die Differenz ΔT zwischen der gemessenen Temperatur T_1 des inneren Heizelements **46** und der gemessenen Temperatur T_2 des äußeren Heizelements **48** ein. Bei anderen Ausführungen wird jedoch der Wert ΔT in der Software vorher eingestellt und nicht vom Benutzer festgelegt. Auf jeden Fall wird der Wert von ΔT festgelegt, bevor der Suszeptor **18** erhitzt wird. Bei einer beispielsweise Ausführung wird der Wert ΔT auf 20°C eingestellt, obwohl auch andere Werte verwendet werden können, was von dem speziellen Aufbau des Suszeptors **18** und dem durchzuführenden Prozess abhängt. Die vom Benutzer definierten Werte werden in einem Speicher **56** gespeichert.

[0032] Wenn der Benutzer einmal den Wert der vom Benutzer definierten Variablen einschließlich der Werte für die Endsollwerte T_{F1} , T_{F2} und die Aufheizgeschwindigkeit R eingegeben hat, werden gemäß Fig. 5A und 5B diese Werte von dem Speicher **56** (Schritt 100) gelesen. Wenn der Wert für ΔT vom Benutzer eingestellt wird, wird er ebenfalls von dem Speicher wiedergewonnen. Es werden verschiedene Variablen vom Booleschen Typ und andere Variablen initialisiert (Schritt 102). Beispielsweise wird am Anfang ein Boolesches Steuerzeichen F auf "falsch" gesetzt. Der Status des Steuerzeichens F wird auf "richtig" geändert, wenn die Temperatur des inneren Heizelements **46** niedriger als ein vorgegebener Betrag T_S unterhalb des Endsollwerts T_{F1} ist, mit anderen Worten, wenn $T_1 < T_{F1} - T_S$. Bei einer Ausführungsform beträgt beispielsweise der vorgegebene Wert T_S 5°C . Wenn somit der Endsollwert T_{F1} auf 400°C eingestellt ist, schaltet das Steuerzeichen F auf "richtig", wenn die Temperatur des inneren Heizelements **46** kleiner als 395°C ist. Wenn außerdem der Wert ΔT vom Benutzer nicht eingestellt wird, würde der Wert von ΔT im Schritt **102** initialisiert werden.

[0033] Anschließend wird eine Bestimmung durchgeführt, ob entweder die Temperatur T_1 des inneren Heizelements **46** oder die Temperatur T_2 des äußeren Heizelements **48** über seinem jeweiligen Endsollwert T_{F1} , T_{F2} (Schritt 104) liegt. Wenn das System das erste Mal eingeschaltet wird, liegen beide Heizelemente **46**, **48** normalerweise unter ihren ersten Endsollwerten. Wenn jedoch die Bestimmung im Schritt 104 bejahend ist, werden beide Heizelemente **46**, **48** abgeschaltet (Schritt **106**). Die Steuerung wartet eine

vorgegebene Zeit (Schritt 108), beispielsweise 30 Sekunden, und kehrt dann zum Schritt **104** zurück, um die Temperaturen T_1 , T_2 zu prüfen. Die Steuerung **50** setzt den Zyklus über die Schleife fort, die von den Schritten 104 bis 108 gebildet wird, bis beide Heizelemente **46**, **48** unter ihren jeweiligen Endsollwerten T_{F1} , T_{F2} liegen. Die Steuerung **50** aktiviert dann die Heizelemente **46**, **48**, indem sie für sie Leistung zur Verfügung stellt (Schritt **110**).

[0034] Als Nächstes führt die Steuerung **50** eine Vorheiz-Vorbereitungsstufe durch, um zu gewährleisten, dass die Differenz zwischen den Momentantemperaturen T_1 , T_2 der Heizelemente **46**, **48** die maximal zulässige Differenz ΔT nicht überschreitet. Deshalb wird eine Bestimmung durchgeführt, ob der Wert T_1 minus T_2 den Wert von ΔT (Schritt 112) überschreitet. Wenn dieser Wert ΔT nicht überschreitet, mit anderen Worten, wenn die Temperaturdifferenz zwischen dem inneren und äußeren Heizelement **46**, **48** nicht zu groß ist, fährt die Steuerung **50** fort, einen vorläufigen Suszeptor-Aufheizprozess durchzuführen, der die Temperatur des Suszeptors **18** auf die gewünschten Endsollwerte, wie nachstehend beschrieben, anhebt.

[0035] Wenn andererseits bei dem Schritt 112 bestimmt wird, dass die Differenz zwischen T_1 und T_2 den Wert ΔT überschreitet, wird das heißere Heizelement, beispielsweise das äußere Heizelement **48**, abgeschaltet und das verbleibende Heizelement **46** erhitzt (Schritt 114). Während des Schritts 114 wird ein Zwischensollwert $T_{1(\text{INT})}$ für die Temperatur des inneren Heizelements **46** erstellt, wobei dann

$$T_{1(\text{INT})} = T_1 + [(R) \times (\text{Minuten})].$$

[0036] Zusätzlich darf sich während des Schritt 114 das innere Heizelement **46** mit einem Maximum aufheizen, das größer ist als der Wert R. Bei einer Ausführung darf beispielsweise das innere Heizelement **46** sich mit einer maximalen Geschwindigkeit aufheizen, die gleich dem Doppelten des Wertes von R ist. Natürlich kann die tatsächliche Geschwindigkeit, mit der sich das innere Heizelement während dieses Schritts aufheizt, durch die physikalischen Möglichkeiten des Heizelements begrenzt werden. Die Steuerung **50** wartet dann, bis ein vorgegebener Verzögerungszeitraum abgelaufen ist (Schritt 116). Die vorgegebene Verzögerung kann beispielsweise 30 Sekunden betragen. Während des Verzögerungszeitraums darf die Temperatur des inneren Heizelements **46** den Momentanwert von $T_{1(\text{INT})}$ nicht überschreiten. Am Ende des Verzögerungszeitraums kehrt die Steuerung **50** zum Schritt 112 zurück und bestimmt, ob der Wert von T_1 minus T_2 den Wert ΔT überschreitet. Die Steuerung fährt fort, die von den Schritten 112 bis 116 gebildete Schleife zu durchlaufen, bis die Differenz zwischen der Temperatur T_1 des inneren Heizelements und der Temperatur T_2 des äußeren Heizelements den Wert ΔT nicht überschreitet. Die Steuerung

rung **50** führt dann einen vorläufigen Suszeptor-Aufheizvorgang durch, der die Temperatur des Suszeptors **18** auf die gewünschten Endsollwerte bringt.

[0037] Obwohl der von der Steuerung **50** durchgeführte Algorithmus dazu beiträgt, zu gewährleisten, dass die Differenz zwischen den Temperaturen der Heizelemente ΔT nicht überschreitet, kann die Aufrechterhaltung eines Nicht-Null-Abstands zwischen den Temperaturen der Heizelemente, der kleiner ist als ΔT , zu einem Wärmestrom zwischen Bereichen des Suszeptors **18** führen, der es ermöglicht, dass sich der Suszeptor schneller und effizienter aufheizt. Dadurch kann, wie nachstehend näher beschrieben wird, die höhere Heizleistung des äußeren Heizelements **48** beispielsweise dazu benutzt werden, die Aufheizung durch das innere Heizelement **46** zu steigern.

[0038] Insgesamt ist der vorläufige Suszeptor-Aufheizprozess, wie nachstehend beschrieben, so ausgelegt, dass der Suszeptor **18** auf seine Endtemperatur so schnell wie möglich basierend auf der Geschwindigkeit R aufgeheizt werden kann, die von dem Benutzer gewählt wird, während die Differenz zwischen den Temperaturen der Heizelemente **46**, **48** auf Werten gehalten wird, die kleiner als ΔT sind. Es werden beide Heizelemente eingeschaltet (Schritt 118) und eine Bestimmung durchgeführt, ob entweder die Temperatur T_1 des inneren Heizelements **46** kleiner als T_{F1} , minus T_S ist oder ob die Temperatur T_2 des äußeren Heizelements **48** kleiner als T_{F2} minus T_S ist (Schritt 120). Wenn sich beide Heizelemente **46**, **48** in der Nähe ihrer jeweiligen Endsollwerte befinden, also wenn, mit anderen Worten, die Bestimmung in Schritt 120 negativ ist, werden die Zwischensollwerte $T_{1((INT))}$ und $T_{2((INT))}$ für beide Heizelemente so eingestellt, dass ihre jeweiligen Endsollwerte T_{F1} , T_{F2} es ermöglichen, den Suszeptor **18** auf seine Endtemperatur aufzuheizen (Schritt 140). Der vorläufige Suszeptor-Aufheizvorgang wäre dann abgeschlossen, und die Steuerung **50** steuert die Heizelemente **46**, **48**, um die Suszeptortemperatur auf dem gewünschten Niveau zu halten.

[0039] Wenn andererseits die Bestimmung in Schritt 120 bejahend ist, also wenn, mit anderen Worten, die Temperatur wenigstens eines der Heizelemente **46**, **48** sich nahe bei dem jeweiligen Endsollwert befindet, wird eine Bestimmung durchgeführt, ob die Temperatur T_1 des inneren Heizelements **46** kleiner als T_{F1} minus T_S ist (Schritt 124). Wenn die Bestimmung als negativ beantwortet ist, wenn also, mit anderen Worten, die Temperatur des inneren Heizelements **46** sich nahe an seinem Endsollwert T_{F1} befindet, wird das Steuerzeichen F auf "falsch" rückgestellt, und der Zwischensollwert $T_{1((INT))}$ für das innere Heizelement **46** wird auf den Endsollwert T_{F1} gesetzt.

[0040] Wenn die Bestimmung in Schritt 124 als bestätigend beantwortet wird, also, wenn mit anderen Worten, die Temperatur T_1 des inneren Heizelements **46** sich nicht in der Nähe ihres Endsollwerts T_{F1} befindet, wird das Steuerzeichen F auf "richtig" (Schritt

128) gesetzt. Außerdem wird der Zwischensollwert $T_{1((INT))}$ für die Temperatur des inneren Heizelements **46** gleich der Momentantemperatur T_1 des inneren Heizelements plus dem Wert der Heizgeschwindigkeit R (Schritt 130) gesetzt, mit anderen Worten, $T_{1((INT))} = T_1 + [(R) \times (\text{Minuten})]$.

[0041] Unabhängig davon, ob der Algorithmus dem Schritt 126 oder den Schritten 128 bis 130 folgt, fährt die Steuerung **50** fort, eine Bestimmung durchzuführen, ob drei Bedingungen genügt wird (Schritt 132). Erstens muss das Steuerzeichen F auf "richtig" gesetzt werden, d.h. die Temperatur T_1 des inneren Heizelements **46** muss um wenigstens T_S kleiner als ihr Endsollwert T_{F1} sein. Zweitens muss die Temperatur T_2 des äußeren Heizelements **48** gut unter ihrem Endsollwert liegen, d.h. $T_2 < T_{F2} - T_S$. Drittens muss die Summe aus ΔT und aus dem momentanen Zwischensollwert $T_{1((INT))}$, der sich für das innere Heizelement **46** eingestellt hat, kleiner als der Endsollwert T_{F2} für das äußere Heizelement sein, d.h. $\Delta T + T_{1((INT))} < T_{F2}$.

[0042] Diese letzte Bedingung trägt dazu bei, zu verhindern, dass das äußere Heizelement **48** über den Endsollwert T_{F2} hinausschießt, wenn der Algorithmus zu dem Schritt 136 weitergeht.

[0043] Wenn einer oder mehreren dieser drei Bedingungen nicht genügt wird, wird ein Zwischensollwert $T_{2((INT))}$ für das äußere Heizelement **46** so gesetzt, dass er gleich dem Endsollwert T_{F2} (Schritt 134) ist. Die Steuerung **50** wartet dann den Ablauf eines vorgegebenen Verzögerungszeitraums ab (Schritt 138). Die vorgegebene Verzögerung kann beispielsweise sechzig Sekunden betragen, obwohl andere Verzögerungen in manchen Situationen geeignet sein können. Am Ende des Verzögerungszeitraums kehrt die Steuerung **50** zum Schritt 120 zurück.

[0044] Wenn andererseits allen drei Bedingungen im Schritt 132 genügt wird, wird der Zwischensollwert $T_{2((INT))}$ für das äußere Heizelement **48**, wie durch den Schritt 136 angegeben, entsprechend dann

$$T_{2((INT))} = T_{1((INT))} + \Delta T$$

gesetzt. Die Steuerung **50** wartet dann den Ablauf eines vorgegebenen Verzögerungszeitraums (Schritt 138) ab. Der vorgegebene Verzögerungszeitraum kann beispielsweise 60 Sekunden betragen, obwohl andere Verzögerungen in manchen Fällen geeignet sein können. Am Ende des Verzögerungszeitraums kehrt die Steuerung **50** zum Schritt 120 zurück.

[0045] Insgesamt sollte während des Verzögerungszeitraums von Schritt **138** die Temperatur T_1 des inneren Heizelements **46** den Momentanwert von $T_{1((INT))}$ nicht überschreiten, und die Temperatur T_2 des äußeren Heizelements **48** darf den Momentanwert von $T_{2((INT))}$ nicht überschreiten. Indem man die Werte $T_{1((INT))}$ und $T_{2((INT))}$ voneinander abhängig macht, wie dies durch die Gleichung in Schritt 136 zum Aus-

druck kommt, wird die Wahrscheinlichkeit, dass die Differenz zwischen den Temperaturen T_1 , T_2 der Heizelemente **46**, **48** zu groß wird, stark verringert. Deshalb kann der Suszeptor **18** auf seine Endtemperatur basierend auf der vom Benutzer gewählten Geschwindigkeit R und gleichzeitig in einer Art und Weise aufgeheizt werden, die die Möglichkeit eines Suszeptorbruchs wesentlich reduziert.

[0046] Die Steuerung **50** fährt mit der Ausführung der von den Schritten 120 bis 138 gebildeten Schleife fort, bis die Temperaturen T_1 , T_2 beider Heizelemente **46**, **48** nahe an ihren jeweiligen Endsollwerten T_{F1} , T_{F2} liegen, so dass die Zwischensollwerte $T_{1((INT)}}$, $T_{2((INT)}}$ jeweils gleich T_{F1} , T_{F2} (Schritt 440) gesetzt werden können. Wenn die Heizelemente **46**, **48** einmal ihre jeweiligen Endsollwerte T_{F1} , T_{F2} erreichen, ist der vorläufige Suszeptor-Aufheizprozess abgeschlossen, und die Steuerung **50** steuert die Heizelemente **46**, **48** so, dass die Suszeptortemperatur auf der gewünschten Endtemperatur gehalten wird. Dann kann ein Substrat auf den Suszeptor **18** für das Erhitzen und Behandeln überführt werden.

[0047] Die Geschwindigkeit, mit der die Zwischentemperatur-Sollwerte für jedes der Heizelemente **46**, **48** erhöht werden, ist so ausgelegt, dass sie so hoch wie die Geschwindigkeit R ist, die vom Benutzer gewählt wird, obwohl die tatsächliche Aufheizgeschwindigkeit durch die Heizleistungen der Heizelemente oder durch andere Faktoren begrenzt werden kann. Jedes Mal, wenn sich die Heizelemente **46**, **48** den Momentan-Zwischensollwerten nähern, werden die Zwischensollwerte erhöht, wodurch ein relativ hoher Betriebszyklus aufrechterhalten wird. Die Aufrechterhaltung eines begrenzten Temperaturabstands zwischen den Heizelemente **46**, **48** und die konstante Steigerung der Zwischentemperatur-Sollwerte führt zu einem Wärmeübergang von dem Heizelement mit der größeren Heizleistung (beispielsweise dem äußeren Heizelement **48**) zu dem Heizelement mit der geringeren Heizleistung (beispielsweise dem inneren Heizelement **46**). Das Heizelement mit der größeren Heizleistung arbeitet deshalb mit einem Betriebszyklus, der höher als der Betriebszyklus ist, den er nur für sein eigenes Aufheizen eingesetzt haben würde. Mit anderen Worten, die Leistung des Heizelements mit der größeren Kapazität wird zur Steigerung der Temperatur von Suszeptorbereichen in der Nähe des Heizelements mit der geringeren Kapazität verwendet.

[0048] Obwohl die vorstehend erörterte Ausführung für einen Substraträger mit zwei Heizelementen beschrieben wurde, kann dieses Verfahren verwendet werden, um einen Substraträger zu erhitzen, der mehr als zwei Heizelemente hat. Bei einer solchen Ausgestaltung können alle Heizelemente mit Ausnahme des kältesten Heizelements wie das oben beschriebene äußere Heizelement behandelt werden, nämlich dass die Temperaturdifferenz zwischen dem kältesten Heizelement und jedem der anderen Heizelemente den vorgegebenen Wert ΔT nicht über-

schreitet.

[0049] Die vorstehende Technik kann auch in Verbindung mit anderen Substraträgern als Suszeptoren verwendet werden, beispielsweise Heizplatten, sowie in Substrathandhabungssystemen, die andere Verfahren als PECVD verwenden. Beispielsweise kann die Technik eine breite Vielfalt von Substratbehandlungssystemen umfassen, bei denen ein Substrat erhitzt wird. Die Technik kann auch zur Steuerung des Erhitzens eines Substraträgers in anderen Kammern als Prozesskammern verwendet werden, beispielsweise in Vorheiz- oder Ladeschleusenkammern. Zusätzlich kann das beschriebene Verfahren zum Erhitzen von Substraträgern für Substrate eingesetzt werden, die aus anderen Materialien als Glas bestehen.

[0050] Weitere Ausgestaltungen liegen innerhalb des Rahmens der folgenden Ansprüche.

Patentansprüche

1. Thermische Substratbehandlungsvorrichtung
 - mit einer Behandlungskammer (**12**),
 - mit einem Substrathalter (**18**), der in der Kammer angeordnet ist und ein erstes und ein zweites Heizelement (**46**, **48**) zum Erhitzen des Substrathalters aufweist, und
 - mit einer Steuereinrichtung (**50**) zum Steuern der Temperatur der Heizelemente,
 - wobei die Steuereinrichtung die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements so steuert, dass, wenn eine Temperaturdifferenz zwischen dem ersten und zweiten Heizelement am Anfang einen vorgegebenen Wert überschreitet, die Differenz dazu gebracht wird, dass sie kleiner ist als der vorgegebene Wert, und
 - wobei die Steuereinrichtung die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements so steuert, dass, während die Temperatur der Heizelemente auf die jeweiligen Endtemperatur-Sollwerte erhöht werden, die Differenz zwischen der Temperatur des ersten Heizelements und der Temperatur des zweiten Heizelements den vorgegebenen Wert nicht überschreitet.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher der Endtemperatur-Sollwert des ersten Heizelements (**46**) ein anderer ist als der Endtemperatur-Sollwert des zweiten Heizelements (**48**).
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Steuereinrichtung (**50**) so gestaltet ist, dass sie die Temperatur dadurch steuert, dass
 - (a) ein erster Zwischentemperatur-Sollwert für das erste Heizelement (**46**) eingestellt wird,
 - (b) ein zweiter Zwischentemperatur-Sollwert für das zweite Heizelement (**80**) eingestellt wird, wobei der zweite Zwischensollwert von einem Momentanwert des ersten Sollwerts und dem vorgegebenen Wert abhängt, und

(c) die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements zu ihren jeweiligen Zwischentemperatur-Sollwerten hin erhöht werden.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher die Steuereinrichtung (50) so gestaltet ist, dass
(d) die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements zu ihren jeweiligen Zwischensollwerten hin für einen vorgegebenen Verzögerungszeitraum ansteigen dürfen und
(e) die Schritte (a), (b), (c) und (d) wiederholt werden, bis die Temperatur wenigstens eines der Heizelemente (erstes und zweites) innerhalb einer vorgegebenen Größe seines jeweiligen Endsollwerts liegt.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher die Steuereinrichtung (50) so gestaltet ist, dass der zweite Zwischenwert so eingestellt wird, dass er einem Momentanwert des ersten Zwischensollwerts plus dem vorgegebenen Wert gleich ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher die Steuereinrichtung (50) so gestaltet ist, dass der Wert des ersten Zwischensollwerts basierend auf einer Momentantemperatur des ersten Heizelements und einer vorgegebenen Aufheizgeschwindigkeit berechnet wird.

7. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher die Steuereinrichtung (50) so gestaltet ist, dass der erste Zwischensollwert so eingestellt wird, dass er der Momentantemperatur des ersten Heizelements plus dem Wert einer vorgegebenen Aufheizgeschwindigkeit gleich ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei welcher die Steuereinrichtung (50) so gestaltet ist, dass
(d) der zweite Zwischenwert so eingestellt wird, dass er dem Momentanwert des ersten Zwischensollwerts plus dem vorgegebenen Wert gleich ist,
(e) die Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements (46, 48) zu ihren jeweiligen Zwischensollwerten hin über einen vorgegebenen Verzögerungszeitraum ansteigen dürfen und
(f) die Schritte (a), (b), (c), (d) und (e) wiederholt werden, bis die Temperatur wenigstens eines der Heizelemente (erstes und zweites) innerhalb einer vorgegebenen Größe und eines jeweiligen Endsollwerts liegt.

9. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher das erste Heizelement (46) ein inneres Heizelement ist, das in den Substrathalter (18) eingebettet ist, während das zweite Heizelement (48) ein äußeres Heizelement ist, das in den Substrathalter eingebettet ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher das erste Heizelement (46) eine erste Heizkapazität und das zweite Heizelement (48) eine zweite Heizkapazität hat, die größer ist als die erste Heizkapazität.

11. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei welcher die Steuereinrichtung (50) so gestaltet ist, dass sie die folgenden Funktionen ausführt, wenn die Differenz in den Temperaturen des ersten und zweiten Heizelements (46, 48) am Anfang nicht kleiner als der vorgegebene Wert ist:

(d) Das zweite Heizelement wird abgeschaltet und
(e) das erste Heizelement darf aufheizen, während das zweite Heizelement abgeschaltet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, bei welcher die Steuereinrichtung (50) weiterhin so gestaltet ist, dass es die folgenden Funktionen ausführt:

(f) Das erste Heizelement (46) darf für einen vorgegebenen Zeitraum aufheizen und
(g) es wird geprüft, ob die Differenz zwischen den Temperaturen der Heizelemente (46, 48) den vorgegebenen Wert nach Abschluss des vorgegebenen Zeitraums überschreitet.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, bei welcher die Steuereinrichtung (50) weiterhin so gestaltet ist, dass sie die folgenden Funktionen ausführt:

Die Funktionen (d), (e), (f) und (g) werden wiederholt bis die Differenz zwischen den Temperaturen der Heizelemente den vorgegebenen Wert nicht länger überschreitet.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, bei welcher die Steuereinrichtung (50) so gestaltet ist, dass das erste Heizelement (46) mit einer maximalen Geschwindigkeit aufheizen darf, die eine vorgegebene Aufheizgeschwindigkeit überschreitet, während das zweite Heizelement (48) abgeschaltet ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

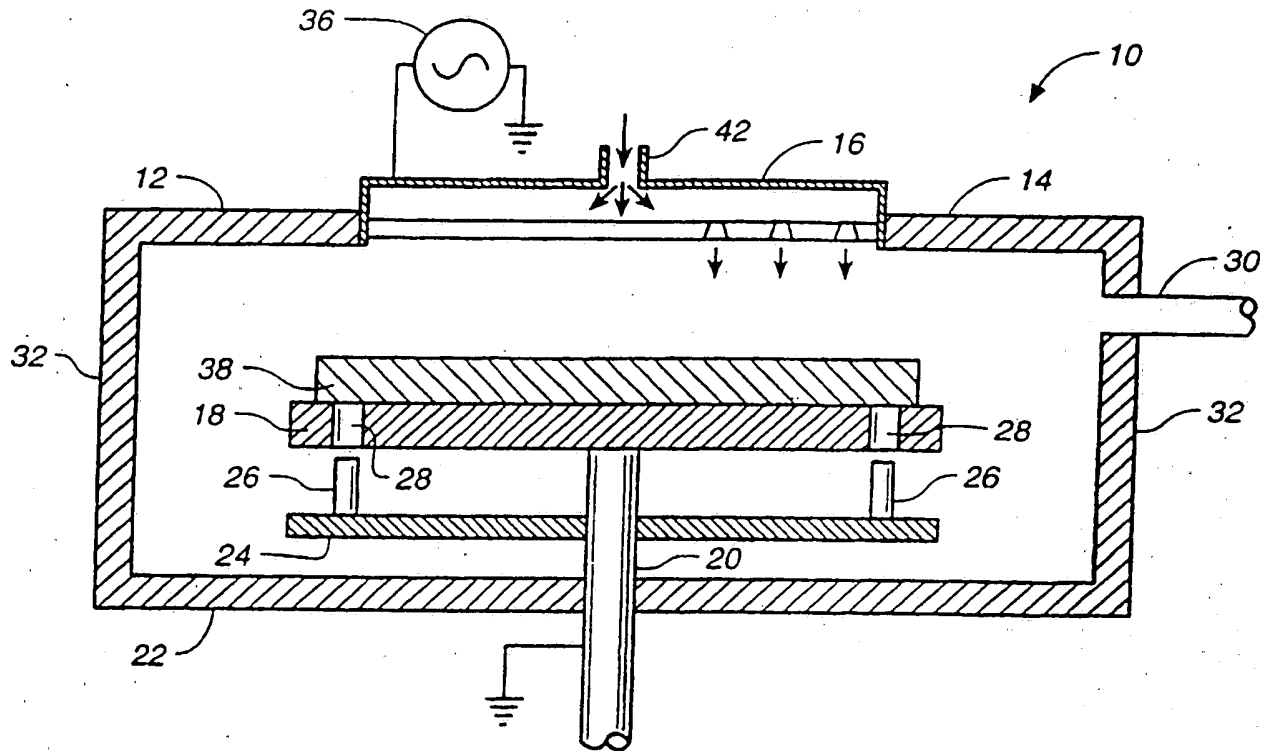


FIG._1

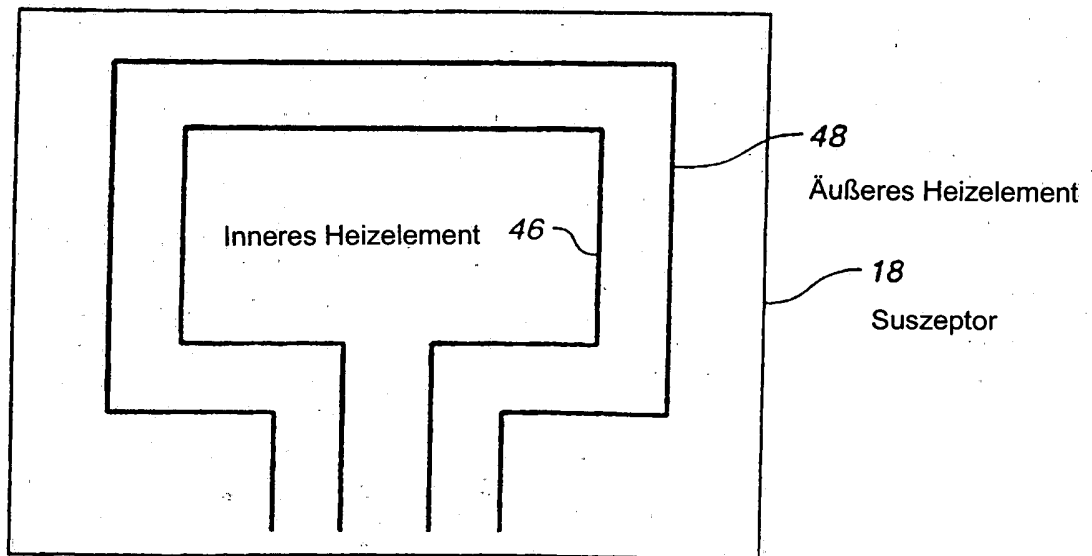


FIG._2

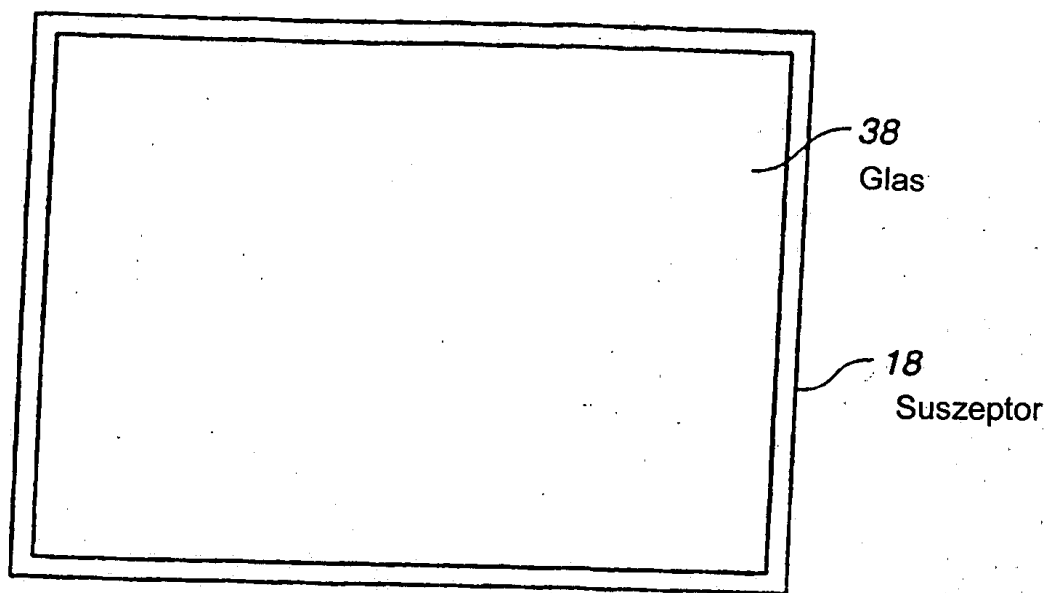


FIG._3

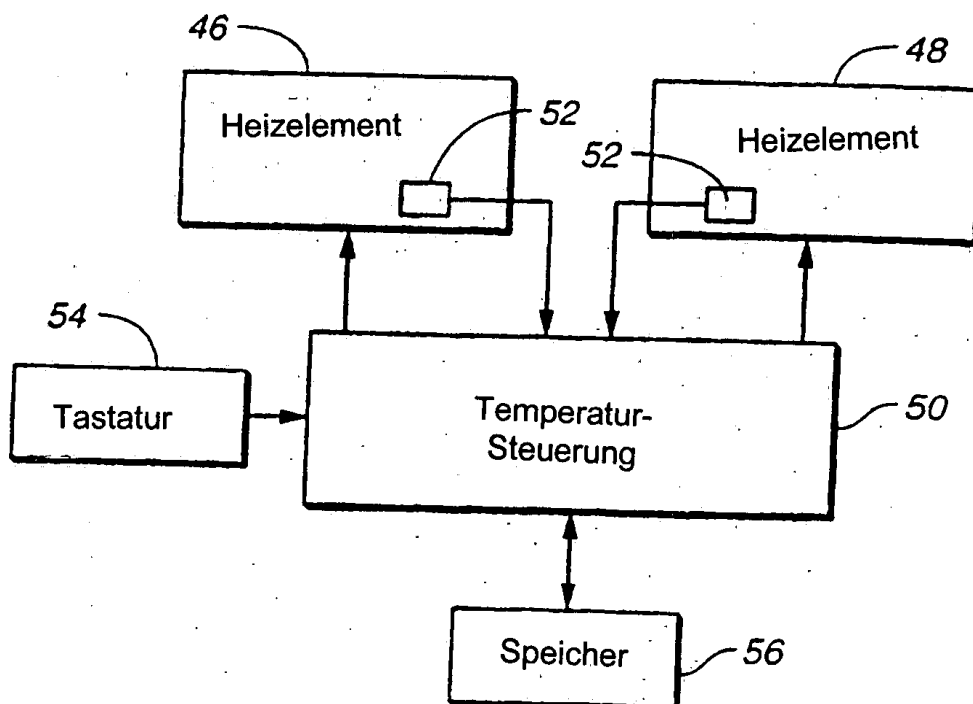


FIG._4

FIG. 5A

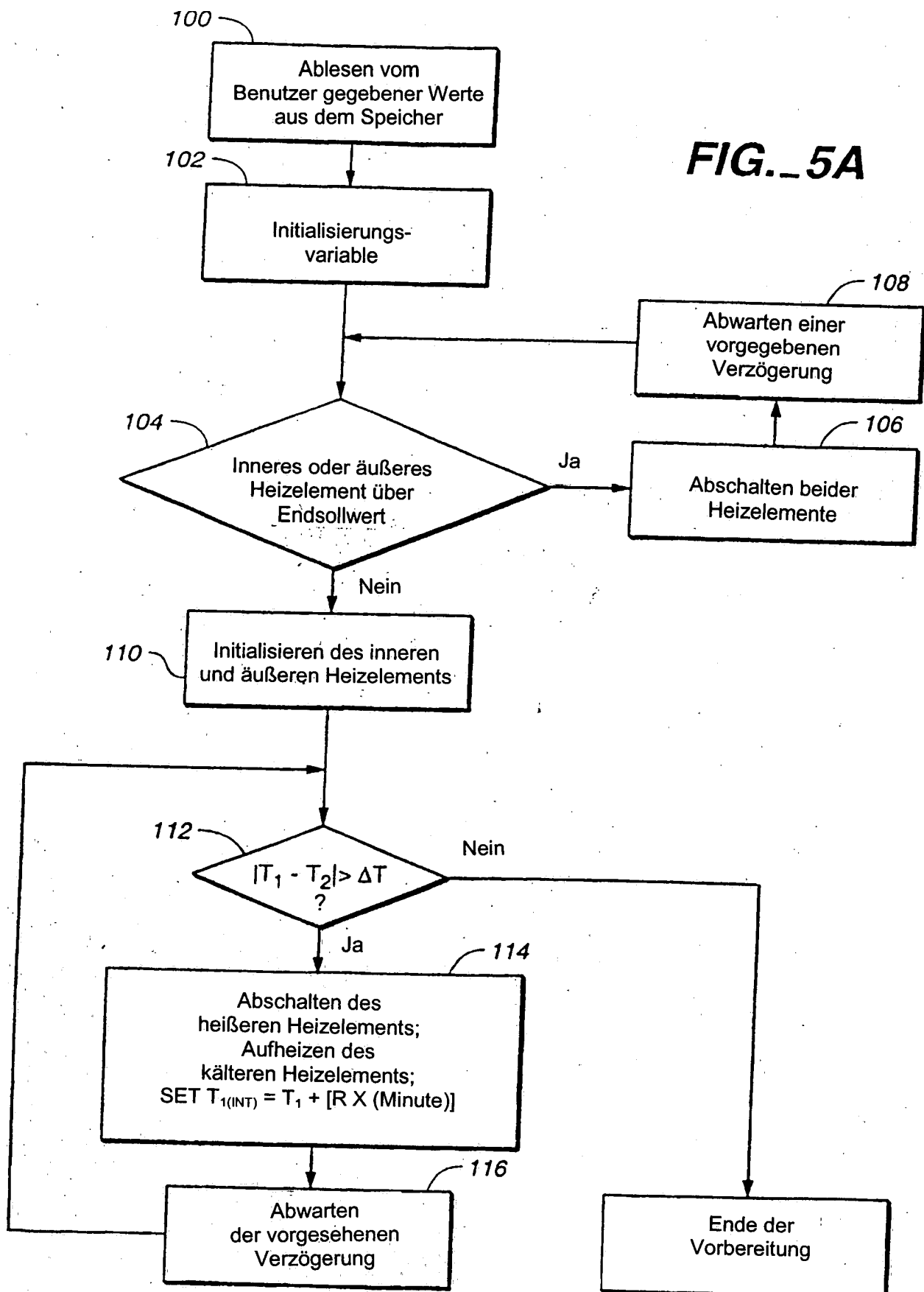


FIG. 5B

