



(10) **DE 10 2017 124 794 A1** 2019.03.21

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 124 794.7**

(22) Anmeldetag: **24.10.2017**

(43) Offenlegungstag: **21.03.2019**

(51) Int Cl.: **H01L 21/027 (2006.01)**

**H01L 21/324 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**15/708,791 19.09.2017 US**

(72) Erfinder:  
**Chao, Chia-Cheng, Hsinchu, TW; Wang, Chung-Cheng, Hsinchu, TW; Chen, Chun-Kuang, Hsinchu, TW**

(71) Anmelder:  
**Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. Ltd., Hsinchu, TW**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2017 / 0 221 783 A1**

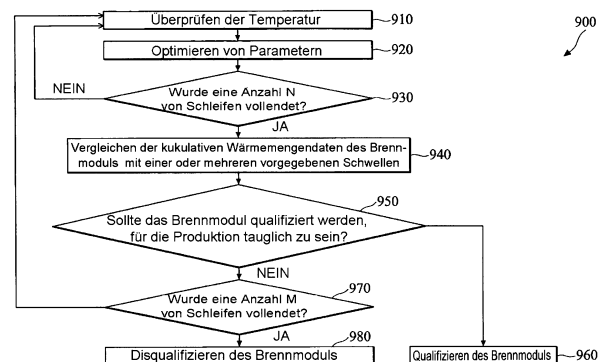
(74) Vertreter:  
**BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209 Bremen, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **VERWENDEN KUMULATIVER WÄRMEMENGDATEN ZUM QUALIFIZIEREN EINER WÄRMEPLATTE, DIE ZUM BRENNEN NACH DEM BELICHTEN VERWENDET WIRD**

(57) Zusammenfassung: Ein Test-Wafer wird in einem Brennmodul angeordnet und wird gebrannt. Über einen oder mehrere Temperatursensoren wird eine kumulative Wärmemenge gemessen, die dem Test-Wafer während des Brennens zugeführt wird. Die gemessene kumulative Wärmemenge wird mit einer vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle verglichen. In Reaktion auf das Vergleichen, das anzeigt, dass die gemessene kumulative Wärmemenge innerhalb der vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle liegt, wird bestimmt, dass das Brennmodul für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist. In Reaktion auf das Vergleichen, das anzeigt, dass die gemessene kumulative Wärmemenge außerhalb der vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle liegt, wird bestimmt, dass das Brennmodul nicht für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND

**[0001]** Die Branche der integrierten Halbleiterschaltkreise (ICs) hat ein exponentielles Wachstum erfahren. Technische Fortschritte bei den IC-Materialien und dem IC-Design haben IC-Generationen hervorgebracht, wo jede Generation kleinere und komplexere Schaltkreise aufweist als die vorherige Generation. Im Zuge der IC-Entwicklung hat die Funktionsdichte (d. h. die Anzahl der miteinander verbundenen Bauelemente pro Chipfläche) allgemein zugenommen, während die Geometriegröße (d. h. die kleinste Komponente (oder Leitung), die mittels eines Herstellungsprozesses gebildet werden kann) kleiner geworden ist. Dieser Prozess der Abwärtskalierung realisiert allgemein Vorteile, indem er die Produktionseffizienz steigert und die mit der Produktion verbundenen Kosten senkt. Eine solche Abwärtsskalierung hat auch die Komplexität der Verarbeitung und Herstellung von ICs erhöht.

**[0002]** In dem Maße, wie sich der Prozess der Abwärtsskalierung fortsetzt, nimmt die Bedeutung der Steuerung der Wärmegleichmäßigkeit in der Halbleiterfertigung zu. Um sicherzustellen, dass Werkzeuge, wie zum Beispiel Wärmeplatten, eine zufriedenstellende Wärmegleichmäßigkeitsleistung erbringen können, können Qualifikationstests an den Wärmeplatten vorgenommen werden. Leider sind die existierenden Verfahren für solche Qualifikationstests nicht in der Lage, die Wärmegleichmäßigkeitsleistung der Wärmeplatten mit optimaler Genauigkeit vorherzusagen.

**[0003]** Das heißt, dass herkömmliche Qualifikationstests für Wärmeplatten zwar allgemein für ihre vorgesehenen Zwecke ausreichend sind, aber nicht in jeder Hinsicht in vollem Umfang zufriedenstellend sind.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0004]** Aspekte der vorliegenden Offenbarung werden am besten anhand der folgenden detaillierten Beschreibung verstanden, wenn sie zusammen mit den begleitenden Figuren gelesen wird. Es ist anzumerken, dass gemäß der üblichen Praxis in der Industrie verschiedene Merkmale nicht maßstabsgetreu gezeichnet sind. Die Abmessungen der verschiedenen Merkmale können vielmehr beliebig vergrößert oder verkleinert werden, um die Besprechung besser verständlich zu machen.

**Fig. 1-4** sind schaubildhafte fragmentarische querschnittene Seitenansichten einer Halbleitervorrichtung auf verschiedenen Stufen der Fertigung gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 5** ist eine schaubildhafte Ansicht eines Systems für die Fertigung einer Halbleitervorrichtung gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 6A** ist eine schaubildhafte Draufsicht eines Brennmoduls gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 6B** ist eine schaubildhafte querschnittene Seitenansicht des Brennmoduls von **Fig. 6A** gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 7** veranschaulicht eine vereinfachte schaubildhafte querschnittene Seitenansicht des Brennmoduls der **Fig. 6A-6B**, die eine Bewegung von Luft im Inneren des Brennmoduls gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung zeigt.

**Fig. 8** veranschaulicht eine übereinandergelegte schaubildhafte Draufsicht des Brennmoduls der **Fig. 6A-B** und mehrerer Sensoren auf einem Test-Wafer gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 9** veranschaulicht ein Kurvendiagramm der Temperatur im Verhältnis zur Zeit gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 10A-10B** zeigen Tabellen mit akkumulierten Wärmemengendaten gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 11A-11B** zeigen Tabellen mit akkumulierten Wärmemengendaten gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 12** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Ausführen von Qualifikationstests an einem Brennmodul gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

**Fig. 13** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Ausführen von Qualifikationstests an einem Brennmodul gemäß einigen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0005]** Die folgende Offenbarung stellt viele verschiedene Ausführungsformen oder Beispiele zum Implementieren verschiedener Merkmale der Erfindung bereit. Im Folgenden werden konkrete Beispiele von Komponenten und Anordnungen beschrieben, um die vorliegende Offenbarung zu vereinfachen. Diese sind natürlich nur Beispiele und dienen nicht der Einschränkung. Zum Beispiel kann die Ausbildung eines ersten Strukturelements über oder auf einem zweiten Strukturelement in der folgenden Beschreibung Ausführungsformen enthalten, bei denen die ersten und zweiten Strukturelemente in direktem Kontakt ausgebildet werden, und können auch Ausführungsformen enthalten, bei denen weitere Strukturelemente zwischen den ersten und zweiten Strukturelementen ausgebildet sein können, so dass die ersten und zweiten Strukturelemente möglicherweise nicht in direktem Kontakt stehen. Des Weiteren kann die vorliegende Offenbarung Bezugswahlen und/oder -buchstaben in den verschiedenen Beispielen wiederholen. Diese Wiederholung dient der Einfachheit und Klarheit und schafft nicht automatisch eine Beziehung zwischen den verschiedenen besprochenen Ausführungsformen und/oder Konfigurationen.

**[0006]** Des Weiteren können räumlich relative Begriffe, wie zum Beispiel „unterhalb“, „unter“, „unterer“, „oberhalb“, „oberer“ und dergleichen im vorliegenden Text zur Vereinfachung der Beschreibung verwendet werden, um die Beziehung eines Elements oder Merkmals zu einem oder mehreren anderen Elementen oder Merkmalen, wie in den Figuren veranschaulicht, zu beschreiben. Die räumlich relativen Begriffe sollen auch andere Ausrichtungen der Vorrichtung im Gebrauch oder Betrieb neben der in den Figuren gezeigten Ausrichtung umfassen. Die Vorrichtung kann auch anders ausgerichtet sein (um 90 Grad gedreht, oder sonstige Ausrichtungen), und die im vorliegenden Text verwendeten räumlich relativen Deskriptoren können ebenfalls entsprechend interpretiert werden.

**[0007]** In dem Maße, wie sich der Prozess der Abwärtsskalierung fortsetzt, bedeuten die kleineren Strukturelementgrößen, dass die Bedeutung der Steuerung der Wärme gleichmäßigkeit in der Halbleiterfertigung zunimmt. Zum Beispiel enthält ein Halbleiter-Lithografieprozess in der Regel einen Schritt des Brennens nach dem Belichten (Post-Exposure Baking, PEB), in dem die belichteten Photoresiststrukturen gebrannt werden. Das Brennen kann durch ein Brennmodul ausgeführt werden, das eine Wärmeplatte enthält, wobei die Wärmeplatte den Wafer durch Wärmeabstrahlung aufheizt. Wenn jedoch die Wärmeverteilung nicht über die gesamte Wärmeplatte gleichmäßig ist, dann können verschiedene Regionen des Wafers unterschiedlich erwärmt werden. Die fehlende Gleichmäßigkeit in dem PEB-Prozess kann zu unerwünschten Schwankungen bei den Strukturgrößen führen, wodurch sich die Leistung der Halbleitervorrichtung verschlechtern könnte. Darum muss die Wärmeplatte möglicherweise kalibriert und qualifiziert werden, bevor sie in der Halbleiterfertigung verwendet wird.

**[0008]** Leider sind die existierenden Verfahren zum Qualifizieren solcher Wärmeplatten nicht in der Lage, die Leistung der Wärmeplatte exakt vorherzusagen. Zum Beispiel stützen sich existierende Verfahren für Qualifikationstests von Wärmeplatten oft auf die Vornahme einer einzigen Temperaturmessung an einem vorgegebenen Zeitpunkt zum Beurteilen der Wärme gleichmäßigkeitsleistung der Wärmeplatte. Dies ist jedoch keine optimale Vorgehensweise zum Bestimmen der Wärme gleichmäßigkeit. Folglich kann eine Halbleiterfertigung, die unter Verwendung dieser Wärmeplatten ausgeführt wird, zu Bauelementgrößen führen, die erhebliche Schwankungen bei der kritischen Abmessung (Critical Dimension, CD) aufweisen, wodurch die Leistung des IC-Bauelements verschlechtert wird und Bauelemente sogar ausfallen können.

**[0009]** Gemäß verschiedenen Aspekten der vorliegenden Offenbarung wird die Wärme gleichmäßigkeitsleistung durch Bestimmen einer kumulativen Wärmemenge über einen Zeitraum anstatt mit nur einer einzigen Messung beurteilt. Die kumulative Wärmemenge wird dann mit verschiedenen vorgegebenen Schwellen verglichen, um zu entscheiden, ob die Wärmeplatte als bereit für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert werden sollte, wie unten noch genauer besprochen wird.

**[0010]** **Fig. 1-4** veranschaulichen vereinfachte schaubildhafte fragmentarische querschnittene Seitenansichten einer Halbleitervorrichtung **100** auf verschiedenen Stufen der Fertigung gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Wie in **Fig. 1** zu sehen, enthält eine Halbleitervorrichtung **100** ein Substrat **140**. In einigen Ausführungsformen ist das Substrat **140** ein Siliziumsubstrat, das mit einem Dotanden vom p-Typ dotiert ist, wie zum Beispiel Bor (zum Beispiel ein Substrat vom p-Typ). Alternativ könnte das Substrat **140** auch

ein anderes geeignetes Halbleitermaterial sein. Zum Beispiel kann das Substrat **140** ein Siliziumsubstrat sein, das mit einem Dotanden vom n-Typ dotiert ist, wie zum Beispiel Phosphor oder Arsen (ein Substrat vom n-Typ). Das Substrat **140** könnte auch andere elementare Halbleiter enthalten, wie zum Beispiel Germanium und Diamant. Das Substrat **140** könnte optional einen Verbundhalbleiter und/oder einen Legierungshalbleiter enthalten. Des Weiteren könnte das Substrat **140** eine Epitaxialschicht (Epi-Schicht) enthalten, könnte zum Zweck der Leistungssteigerung gedehnt werden, und könnte eine Silizium-auf-Isolator (SOI)-Struktur enthalten.

**[0011]** In einigen Ausführungsformen ist das Substrat **140** im Wesentlichen leitend oder halbleitend. Der elektrische Widerstand kann weniger als etwa  $10^3$  Ohm-Meter betragen. In einigen Ausführungsformen enthält das Substrat **140** Metall, Metalllegierung oder Metallnitrid, -sulfid, -selenid, -oxid oder -silicid mit der Formel  $MX_a$ , wobei M ein Metall ist und X N, S, Se, O oder Si ist, und wobei „a“ in einem Bereich von etwa 0,4 bis 2,5 liegt. Zum Beispiel kann das Substrat **140** Ti, Al, Co, Ru, TiN,  $WN_2$  oder TaN enthalten.

**[0012]** In einigen anderen Ausführungsformen enthält das Substrat **140** ein dielektrisches Material mit einer Dielektrizitätskonstante im Bereich von etwa 1 bis etwa **140**. In einigen anderen Ausführungsformen enthält das Substrat **140** Si, Metalloxid oder Metallnitrid, wobei die Formel  $MX_b$  ist, wobei M ein Metall oder Si ist und X N oder O ist, und wobei „b“ in einem Bereich von etwa 0,4 bis 2,5 liegt. Zum Beispiel kann das Substrat **140**  $SiO_2$ , Siliziumnitrid, Aluminiumoxid, Hafniumoxid oder Lanthanoxid enthalten.

**[0013]** Eine Materialschicht **150** wird über dem Substrat **140** ausgebildet. Die Materialschicht **150** kann mittels eines Lithografieprozesses strukturiert werden und kann insofern auch als eine strukturierbare Schicht bezeichnet werden. In einer Ausführungsform enthält die Materialschicht **150** ein dielektrisches Material, wie zum Beispiel Siliziumoxid oder Siliziumnitrid. In einer anderen Ausführungsform enthält die Materialschicht **150** Metall. In einer weiteren Ausführungsform enthält die Materialschicht **150** ein Halbleitermaterial.

**[0014]** In einigen Ausführungsformen hat die Materialschicht **150** andere optische Eigenschaften als der Photoresist. Zum Beispiel hat die Materialschicht **150** einen anderen n-, k- oder T-Wert als der Photoresist. In einigen Ausführungsformen umfasst die Materialschicht **150** eine andere Polymerstruktur und/oder ein anderes säurelabiles Molekül und/oder eine andere PAG (Photosäuregenerator)-Beladung und/oder eine andere Quencher-Beladung und/oder ein anderes Chromophor und/oder einen anderen Vernetzer und/oder ein anderes Lösemittel, die zu einem anderen n-Wert des Photoresists führen. In einigen Ausführungsformen haben die Materialschicht **150** und der Photoresist verschiedene Ätzbeständigkeiten. In einigen Ausführungsformen enthält die Materialschicht **150** ein ätzresistentes Molekül. Das Molekül enthält eine Struktur mit niedriger Onishi-Zahl, Doppelbindung, Tripelbindung, Silizium, Siliziumnitrid, Ti, TiN, Al, Aluminiumoxid, SiON oder Kombinationen davon. Es versteht sich, dass das Substrat **140** und die Materialschicht **150** in anderen Ausführungsformen jeweils weitere geeignete Materialzusammensetzungen enthalten können.

**[0015]** Eine Photoresistschicht **160** wird über dem Substrat **140** (insbesondere über der Materialschicht **150**) ausgebildet. Die Photoresistschicht **160** kann durch einen Schleuderbeschichtungsprozess **170** gebildet werden. In der in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsform enthält die Photoresistschicht **160** einen positiven Photoresist, aber es versteht sich, dass die Photoresistschicht **160** in alternativen Ausführungsformen auch einen negativen Photoresist enthalten kann. Die Photoresistschicht **160** enthält chemische Komponenten wie zum Beispiel ein Polymer, einen Photosäuregenerator (PAG), Quencher, Chromophor, grenzflächenaktive Substanzen, Vernetzer usw. In einer Ausführungsform wird der Photosäuregenerator an das Polymer gebondet. In einem anschließenden Fotolithografieprozess induzieren Photonen die Zerlegung des PAG. Infolge dessen entsteht eine geringe Menge Säure, die des Weiteren eine Kaskade chemischer Umwandlungen in der Photoresistschicht **160** induziert. Der Quencher in dem Photoresistmaterial hilft beim Verbessern der Steuerung der kritischen Abmessung (CD).

**[0016]** Es versteht sich, dass die oben angesprochenen chemischen Komponenten (wie zum Beispiel Polymer, PAG, Quencher, Chromophor, grenzflächenaktive Substanzen, Vernetzer) einen kleinen Teil (zum Beispiel zwischen etwa 1 % und 10 %, zum Beispiel etwa 5 %) der Photoresistschicht **160** ausmachen können. Ein mehrheitlicher Anteil an der Photoresistschicht **160** ist ein Lösemittel. In einigen Ausführungsformen kann das Lösemittel Propylenglycolmonomethylether (PGME) oder Propylenglycolmonomethyletheracetat (PGMEA) oder Kombinationen davon enthalten. Das Lösemittel kann mit den anderen chemischen Komponenten (zum Beispiel Polymer) der Photoresistschicht **160** in einer Flasche oder einem anderen geeigneten Behältnis vermischt werden, bevor die Photoresistschicht **160** auf die Schicht **150** aufgeschleudert oder auf sonstige Weise darauf aufgebracht wird.

**[0017]** In **Fig. 2** wird ein Belichtungsprozess **220** an der Halbleitervorrichtung **100** ausgeführt. In der veranschaulichten Ausführungsform enthält die Belichtung **220** eine Belichtung mit extremer ultravioletter (EUV) Strahlung. Zum Beispiel wird in einigen Ausführungsformen als Teil der Belichtung eine Lichtquelle (oder Bestrahlungsquelle) mit einer Wellenlänge von weniger als etwa 250 nm, zum Beispiel etwa 13,5 nm, verwendet. In einigen Ausführungsformen hat die Bestrahlungsquelle mindestens eines von KrF, ArF, EUV oder E-Strahl. Die Lichtquelle belichtet eine oder mehrere zuvor festgelegte Regionen **160A** der Photoresistschicht **160**, während die Belichtung anderer Regionen **160B** der Photoresistschicht **160** mit Hilfe einer strukturierten Lithografiefotomaske, wie zum Beispiel einer EUV-Maske, verhindert wird.

**[0018]** In **Fig. 3** wird ein Brennprozess **250** an der Halbleitervorrichtung **100** ausgeführt. Da dieser Brennprozess **250** nach dem Belichtungsprozess **220**, der die Photoresistschicht **160** belichtet, ausgeführt wird, kann der Brennprozess **250** ebenfalls als ein Prozess des Belichtens nach dem Brennen (Post-Exposure Baking, PEB) bezeichnet werden. Der Brennprozess **250** kann auch in einer Kammer unter Verwendung einer Wärmeplatte ausgeführt werden, deren Details unten noch genauer besprochen werden.

**[0019]** In **Fig. 4** wird ein Entwicklungsprozess **300** an der Photoresistschicht **160** ausgeführt, nachdem der Brennprozess **250** ausgeführt wurde. Der Entwicklungsprozess **300** enthält das Aufbringen einer Entwicklerlösung auf die Photoresistschicht **160**, wobei die Entwicklerlösung einen Lösemittelentwickler wie zum Beispiel 2-Heptanon, n-Butylacetat (NBA), Isoamylacetat oder Kombinationen davon enthält. Der Entwicklungsprozess **300** strukturiert den Photoresistschicht **160**. Unter der Annahme, dass ein Positivton-Photoresist verwendet wird, werden die belichteten Abschnitte **160A** der Photoresistschicht **160** nach dem Entwicklungsprozess **300** entfernt, da die Belichtung mit dem EUV-Licht die chemische Struktur des Photoresists verändert und ihn in der Entwicklerlösung leichter löslich macht. Derweil bleiben die unbelichteten Abschnitte **160B** der Photoresistschicht **160** zurück, wodurch Öffnungen **310** anstelle der entfernten Abschnitte **160A** gebildet werden. Wenn hingegen die Photoresistschicht **160** ein Negativton-Photoresist ist, so bleiben die belichteten Abschnitte **160A** nach dem Entwicklungsprozess **300** zurück, während die unbelichteten Abschnitte **160B** entfernt werden. In jedem Fall kann nun der strukturierte Photoresistschicht **160** dafür verwendet werden, die Materialschicht **150** darunter in anschließenden Herstellungsprozessen zu strukturieren.

**[0020]** **Fig. 5** ist eine vereinfachte schaubildhafte Ansicht eines Abschnitts eines Halbleiterfertigungssystem **400**, das dafür verwendet werden kann, die verschiedenen Herstellungsprozesse auszuführen, die oben mit Bezug auf die **Fig. 1-4** besprochen wurden. Die in **Fig. 5** gezeigten Pfeile bezeichnen die Reihenfolge, in der die Halbleiterfertigungsprozesse unter Verwendung der verschiedenen Werkzeuge des Systems **400** ausgeführt werden.

**[0021]** Das Fertigungssystem **400** enthält ein Photoresistbeschichtungswerkzeug **410**. Das Photoresistbeschichtungswerkzeug **410** kann dafür verwendet werden, die Photoresistschicht **160** über die Schicht **150** als Teil des oben in **Fig. 1** besprochenen Schleuderbeschichtungsprozesses **170** aufzubeschichten. In einigen Ausführungsformen enthält das Photoresistbeschichtungswerkzeug **410** eine Flasche oder ein Behältnis zum Vermischen der Photoresistchemikalien (zum Beispiel Polymer, PAG usw.) mit einem Lösemittel. Das Photoresistbeschichtungswerkzeug **410** kann ebenfalls Düsen zum Aufsprühen von Flüssigkeiten enthalten, wie zum Beispiel das Gemisch, das aus den Photoresistchemikalien und dem Lösemittel besteht. Das Photoresistbeschichtungswerkzeug **410** kann ebenfalls eine Stufe zum Halten und/oder Drehen eines Wafers enthalten, während der Photoresistschicht **160** darauf beschichtet wird.

**[0022]** Das Fertigungssystem **400** enthält ein Belichtungswerkzeug **430**. Das Belichtungswerkzeug **430** kann dafür verwendet werden, die Photoresistschicht **160** als Teil des oben in **Fig. 2** besprochenen Belichtungsprozesses **220** freizulegen. In einigen Ausführungsformen enthält das Belichtungswerkzeug **430** einen EUV-Scanner. Andere Arten von Scannern können in alternativen Ausführungsformen ebenfalls verwendet werden.

**[0023]** Das Fertigungssystem **400** enthält ein Werkzeug zum Brennen nach dem Belichten (PEB) **450**. Das PEB-Werkzeug **420** kann dafür verwendet werden, die Photoresistschicht **160** als Teil des oben in **Fig. 3** besprochenen Brennprozesses **250** zu brennen. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennwerkzeug **450** eine „Wärmeplatte“, bei der es sich um eine erwärmte Platte handelt, als Teil eines Schienen-Halbleiterfertigungssystems. Wie oben besprochen, kann die Wärme gleichmäßigkeit während des PEB-Prozesses einen signifikanten Einfluss auf die Bauelementleistung haben, wie zum Beispiel die Gleichmäßigkeit der kritischen Abmessung. Darum verwendet die vorliegende Offenbarung eine kumulative Wärmeenergiemenge, um zu bestimmen, ob ein bestimmtes PEB-Werkzeug (zum Beispiel eine Wärmeplatte) als in der tatsächlichen Halbleiterfertigung verwendbar qualifiziert werden sollte, zum Beispiel zur Verwendung in dem PEB-Prozess. Dies wird unten genauer besprochen.

**[0024]** Das Fertigungssystem **400** enthält ein Entwicklungswerkzeug **470**. Das Entwicklungswerkzeug **470** kann dafür verwendet werden, die Photoresistschicht **160** als Teil des oben in **Fig. 4** besprochenen Entwicklungsprozesses **300** zu entwickeln. In einigen Ausführungsformen enthält das Entwicklungswerkzeug **470** Düsen oder andere Abgabeeinheiten, die dafür konfiguriert sind, die Entwicklerlösung abzugeben.

**[0025]** Das Fertigungssystem **400** enthält außerdem eine Steuereinheit **480**. Die Steuereinheit **480** enthält Programmierinstruktionen zum Bedienen eines oder mehrerer der Werkzeuge **410** und **470**. Die Steuereinheit **480** kann in einigen Ausführungsformen eine eigenständige Steuereinheit sein, oder sie kann in anderen Ausführungsformen in eines oder mehrere der Werkzeuge **410** und **470** integriert sein. Es versteht sich, dass das Fertigungssystem **400** ein oder mehrere Werkzeuge zusätzlich zu den oben besprochenen Werkzeugen **410** und **470** enthalten kann. Diese zusätzlichen Werkzeuge können dafür verwendet werden, andere Schritte der Halbleiterfertigung vor, während oder nach den Schritten auszuführen, die durch die Werkzeuge **410** und **470** ausgeführt werden. Aus Gründen der Einfachheit werden jedoch diese zusätzlichen Werkzeuge im vorliegenden Text nicht im Detail besprochen.

**[0026]** **Fig. 6A** ist eine schaubildhafte Draufsicht eines Brennmoduls **500**, und **Fig. 6B** ist eine schaubildhafte querschnittene Seitenansicht des Brennmoduls **500** gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung. Das Brennmodul **500** ist ein Teil des oben besprochenen PEB-Brennwerkzeugs **450** und kann dafür verwendet werden, PEB-Prozesse sowie andere Prozesse auszuführen, bei denen eine thermische Erwärmung stattfindet. Das Brennmodul **500** enthält ein Gehäuse **510**, das eine hermetisch verschließbare Kammer enthalten kann. Ein Wafer **520** (zum Beispiel ein Produktionswafer oder ein Test-Wafer) kann im Inneren des Brennmoduls **500** angeordnet und thermisch erwärmt werden. In der in **Fig. 6B** veranschaulichten Ausführungsform enthält der Wafer **520** einen Test-Wafer, der dafür verwendet wird, Temperaturdaten zu messen, die mit dem Brennmodul **500** in einem Brennprozess verknüpft sind. Die Temperaturdaten werden dann dafür verwendet zu bestimmen, ob das Brennmodul als bereit für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert werden sollte, wie unten noch genauer besprochen wird.

**[0027]** Wie des Weiteren in **Fig. 6B** zu sehen, generiert das Brennmodul **500** Wärme oder Wärmeenergie über eine Wärmeplatte **530**, die unterhalb des Wafers **520** angeordnet ist. In einigen Ausführungsformen enthält die Wärmeplatte **530** ein Keramikmaterial und kann mehrere Inch (oder mehrere zehn Inch) dick sein. Die Wärmeenergie kann durch elektrische Widerstandserwärmung generiert werden, wobei elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird, indem man einen elektrischen Strom durch einen oder mehrere Widerstände fließen lässt, die in die Wärmeplatte **530** oder in deren Nähe eingebettet sind. Der Widerstand der Widerstände und/oder die Menge an elektrischem Strom können so justiert werden, dass die durch das Brennmodul **500** erzeugte Wärmemenge und damit die Temperatur im Inneren des Brennmoduls **500** verändert werden. Die Temperaturjustierung für das Brennmodul **500** kann durch eine interne oder externe Steuereinheit gesteuert werden, wie zum Beispiel die Steuereinheit **480** der oben besprochenen **Fig. 5**.

**[0028]** Mehrere Spaltstifte **540** sind auf der Wärmeplatte **530** implementiert. Diese Spaltstifte **540** trennen den Wafer **520** von der Wärmeplatte **530**, dergestalt, dass der Wafer **520** nicht in direktem physischem Kontakt mit der Oberseite der Wärmeplatte **530** steht. Auf diese Weise kann die durch die Wärmeplatte **530** generierte Wärmeenergie gleichmäßiger auf alle Flächen der Wafer **520** abstrahlen, anstatt auf bestimmte Punkte des Wafers **520** konzentriert zu werden. Eine Höhe der Spaltstifte **540** bestimmt eine (oder ist im Wesentlichen gleich einer) Distanz, die den Wafer **520** und die Wärmeplatte **530** trennt. In einigen Ausführungsformen liegt die Höhe der Spaltstifte **540** (oder der Distanz, die den Wafer **520** und die Wärmeplatte **530** trennt) in einem Bereich von etwa 50  $\mu\text{m}$  und etwa 200  $\mu\text{m}$  und beträgt zum Beispiel etwa 100  $\mu\text{m}$ . Die Position der Spaltstifte **540** ist in der Draufsicht von **Fig. 6A** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung deutlicher veranschaulicht.

**[0029]** Um den Wafer **520** auf der Wärmeplatte **530** zu sichern, sind Vakuumlöcher **550** in der Wärmeplatte **530** implementiert. Die Vakuumlöcher **550** erstrecken sich jeweils vertikal durch die Wärmeplatte **530**. Die Vakuumlöcher **550** können auch einen externen Auslass für das Brennmodul **500** bereitstellen. Auf diese Weise kann die Region unterhalb des Wafers **520** in Strömungsverbindung mit Bauelementen außerhalb des Brennmoduls **500**, wie zum Beispiel einer Vakuumpumpe, stehen. Die Vakuumpumpe kann Luft aus der Region unterhalb des Wafers **520** saugen, wodurch ein teilweises Vakuum unterhalb des Wafers **520** erzeugt wird. Das teilweise Vakuum gewährleistet, dass der Wafer **520** an der Wärmeplatte **530** gesichert werden kann, und verhindert eine versehentliche oder ungewollte Bewegung des Wafers **520**. Die Position der Vakuumlöcher **550** ist ebenfalls in der Draufsicht von **Fig. 6A** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung deutlicher veranschaulicht.

[0030] Das Brennmodul **500** enthält des Weiteren Waferführungen **560**, von denen sechs in der in **Fig. 6A** gezeigten Ausführungsform veranschaulicht sind. Die Waferführungen **560** sind um die Ränder der Wärmeplatte **530** herum positioniert und verhindern, dass der Wafer **520** aus dem Brennmodul **500** rutscht. Oder anders ausgedrückt: Die Waferführungen **560** beschränken die mögliche Bewegung des Wafers **520** über die Waferführungen **560** hinaus, da die Seitenwände der Wafer **520** in Kontakt mit den Waferführungen **560** kommen würden. Die Waferführungen **560** helfen auch, die Waferbrennbereiche zu definieren oder zu begrenzen.

[0031] **Fig. 7** veranschaulicht eine vereinfachte schaubildhafte quergeschnittene Seitenansicht des Brennmoduls **500**, die eine Bewegung von Luft im Inneren des Brennmoduls zeigt. Die Bewegung von Luft veranschaulicht, wie eine Abzugskomponente des Brennmoduls **500** funktioniert, um unerwünschte Materialien aus dem Brennmodul **500** zu entfernen. Zum Beispiel sind die Luftbewegungsrichtungen durch mehrere Pfeile in **Fig. 7** veranschaulicht. Wie in **Fig. 7** gezeigt, wird Luft durch einen oder mehrere Einlässe **580** an der Oberseite des Brennmoduls **500** in das Brennmodul **500** gedrückt. Die Luft strömt dann abwärts und seitwärts und wird dann (zusammen mit den Verunreinigungsteilchen) wieder nach oben und durch einen oder mehrere Auslässe **590**, die in der veranschaulichten Ausführungsform ebenfalls in der Oberseite des Brennmoduls **500** angeordnet sind, aus dem Brennmodul **500** heraus gesaugt. Während des Brennprozesses können verschiedene Verunreinigungen, wie zum Beispiel chemische Teilchen, erzeugt werden (zum Beispiel durch Verdampfen aus der Entwicklerlösung). Es ist nicht erwünscht, dass diese Verunreinigungsteilchen im Inneren des Brennmoduls **500** verbleiben. Darum entfernt der Betrieb der Abzugskomponente (die ein oder mehrere Gebläse enthalten kann) effektiv die Verunreinigungen aus dem Brennmodul **500** über den Luftstrom.

[0032] **Fig. 8** veranschaulicht eine übereinandergelegte schaubildhafte Draufsicht der Wärmeplatte **530** und mehrerer Sensoren des Wafers **520**. Der Umriss oder die Grenze des Wafers **520** ist in **Fig. 8** als durchbrochene Leitungen gezeigt. Wie oben besprochen, ist der Wafer **520** ein Test-Wafer und kein Produktionswafer, und darum können Sensoren auf dem Wafer **520** angeordnet werden, ohne dass man sich Sorgen wegen einer Beschädigung der darin enthaltenen Schaltungen machen muss. In der in **Fig. 8** veranschaulichten Ausführungsform sind mehrere Wärmesensoren **1-29** (zum Beispiel Sensoren zum Messen der Temperatur) auf dem Wafer **520** angeordnet, so dass die Wafer-Wärmesensoren **1-29** die Temperatur messen können, die an den Abschnitten des Wafers anliegt, die der Positionen der Wafer-Wärmesensoren **1-29** entsprechen. Des Weiteren enthält die Wärmeplatte **530** in der in **Fig. 8** veranschaulichten Ausführungsform mehrere Heizungskanäle, zum Beispiel Kanäle **CH1-CH13**. Die Kanäle **CH1-CH13** entsprechen jeweils einer Region oder Zone der Wärmeplatte **530**, wo Wärme individuell und/oder unabhängig angelegt werden kann.

[0033] Jeder der Kanäle **CH1-CH13** kann mit einem oder mehreren der Wafer-Wärmesensoren **1-29** verknüpft sein. Oder anders ausgedrückt: Ein oder mehrere Wafer-Wärmesensoren **1-29** sind in einer Region des Wafers **520** angeordnet, die über jedem der Kanäle **CH1-CH13** liegt. Zum Beispiel ist Kanal **CH1** mit den Wafer-Wärmesensoren **10, 14, 15, 16** und **20** verknüpft, Kanal **CH2** ist mit den Wafer-Wärmesensoren **17, 18, 6, 9, 22** und **25** verknüpft, Kanal **CH3** ist mit den Wafer-Wärmesensoren **2, 7, 5, 6, 8** und **9** verknüpft, usw. Tabelle 1 unten listet die Kanalnummern und ihre jeweiligen zugeordneten Wafer-Wärmesensoren auf.

Tabelle 1

Kanalnummer	Wafer-Wärmesensornummer
CH1	10, 14, 15, 16, 20
CH2	17,18, (6, 9, 22, 25)
CH3	2, 7, (5, 6, 8, 9)
CH4	12, 13, (5, 8, 21, 24)
CH5	23, 28, (21, 22, 24, 25)
CH6	19
CH7	4
CH8	1
CH9	3
CH10	11

Kanalnummer	Wafer-Wärmesensornummer
CH11	26
CH12	29
CH13	27

**[0034]** Es ist jedoch zu beachten, dass einige der Wafer-Wärmesensoren **1-29** von mehreren Kanälen gemeinsam genutzt werden. Zum Beispiel wird der Wafer-Wärmesensor **6** zwischen den Kanälen **CH2** und **CH3** gemeinsam genutzt, da er sich praktisch zwischen den Kanälen **CH2** und **CH3** befindet. Als ein weiteres Beispiel wird der Wafer-Wärmesensor **25** zwischen den Kanälen **CH2** und **CH5** gemeinsam genutzt, da er sich praktisch zwischen den Kanälen **CH2** und **CH5** befindet. Diese gemeinsam genutzten Wafer-Wärmesensoren sind in Tabelle 1 in Klammern gezeigt. Zum Beispiel ist Kanal **CH2** mit den Wafer-Wärmesensoren **17**, **18**, **6**, **9**, **22** und **25** verknüpft, wobei die Wafer-Wärmesensoren **17** und **18** mit Kanal **CH2** und keinen anderen Kanälen verknüpft sind, doch die Wafer-Wärmesensoren **6**, **9**, **22** und **25** werden jeweils zwischen Kanal **CH2** und einem oder mehreren anderen Kanälen gemeinsam genutzt.

**[0035]** Es versteht sich, dass die Konfiguration der oben beschriebenen Kanäle und der Wafer-Wärmesensoren lediglich ein Beispiel darstellt. In alternativen Ausführungsformen kann eine andere Anzahl von Kanälen und/oder eine andere Anzahl von Wafer-Wärmesensoren vorhanden sein, und ihre jeweiligen Positionen können ebenfalls verschieden sein.

**[0036]** Bevor die Wärmeplatte **530** in der tatsächlichen Halbleiterfertigung verwendet werden kann, muss sie einen Qualifikationsprozess durchlaufen. Verschiedene Tests und Messungen werden unter Verwendung der Wärmeplatte **530** ausgeführt, um zu bestimmen, ob die Wärmeplatte **530** Wärme gleichmäßig über ihre verschiedenen Regionen (zum Beispiel die Kanäle **CH1-CHB**) hinweg generieren kann. Gemäß den verschiedenen Aspekten der vorliegenden Offenbarung wird statt einer einzigen Messung der Temperatur eine kumulative Wärmemenge dafür verwendet zu bestimmen, ob die Wärmeplatte **530** (oder das Brennmodul **500**) qualifiziert werden sollte, in der tatsächlichen Halbleiterfertigung verwendet zu werden.

**[0037]** Zum Beispiel ist in **Fig. 9** ein Kurvendiagramm **700** veranschaulicht. Das Kurvendiagramm **700** enthält eine Kurve **710** der Temperatur im Verhältnis zur Zeit. Oder anders ausgedrückt: Die X-Achse in **Fig. 9** repräsentiert die Zeit, zum Beispiel mit einer Einheit von Sekunden, und die Y-Achse in **Fig. 9** repräsentiert die Temperatur zum Beispiel mit einer Einheit von Grad Celsius. Der Ursprung (zum Beispiel der Schnittpunkt der X-Achse und der Y-Achse) entspricht einer Zeit von 0 Sekunden und einer Temperatur von 0 Grad Celsius.

**[0038]** Die Kurve **710** repräsentiert die Temperaturen, die durch einen oder mehrere der Wafer-Wärmesensoren **1-29** und/oder der Kanäle **CH1-CH13**, die oben besprochen wurden, über einen Zeitraum gemessen wurden. Zum Beispiel enthält die Kurve **710** eine Anstiegsregion **720**, wo die Temperatur angehoben wird (zum Beispiel durch das Brennmodul **500**), eine statische Region **730**, wo die Temperatur beginnt, ein Plateau (oder einen statischen Pegel) zu erreichen, und eine Region **740**, wo die Temperatur meistens auf dem statischen Pegel bleibt. Es versteht sich jedoch, dass die Form der Kurve **710** lediglich ein nicht-einschränkendes Beispiel ist und dass die Regionen **720** und **740** in anderen Ausführungsformen auch anders definiert werden können.

**[0039]** Genauer gesagt, hat der Wafer **520** an einem Zeitpunkt  $X_0$  eine Anfangstemperatur  $Y_0$ , die in einigen Ausführungsformen eine Raumtemperatur (zum Beispiel etwa 25 Grad Celsius) sein kann. An einem Zeitpunkt nach  $X_0$  beginnt die Temperatur des Wafers **520** aufgrund der Wärme erhöht zu werden, die durch die Wärmeplatte **530** generiert wird. An einem Zeitpunkt  $X_1$  erreicht die Temperatur  $Y_1$ , die in der veranschaulichten Ausführungsform als eine statische Solltemperatur (zum Beispiel  $Y_4$  in der veranschaulichten Ausführungsform) minus 30 Grad Celsius definiert ist. Nehmen wir zum Beispiel an, dass die statische Solltemperatur  $Y_4$  - die Temperatur, auf die der Wafer angehoben werden soll - auf 88 Grad Celsius eingestellt ist, dann ist die Temperatur  $Y_1$  gleich  $88 - 30 = 58$  Grad Celsius. Das heißt, sobald der Wafer-Wärmesensor detektiert, dass die Wafertemperatur 58 Grad Celsius erreicht hat, wird der entsprechende Zeitpunkt aufgezeichnet, die  $X_1$  ist.  $X_1$  und  $Y_1$  markieren den Beginn der Anstiegsregion **720**. Es versteht sich, dass die statische Solltemperatur von 88 Grad Celsius und die Temperaturdifferenz von 30 Grad Celsius zwischen der statischen Solltemperatur und der Temperatur  $X_1$  lediglich Beispiele sind und dass ihre jeweiligen Werte sich in alternativen Ausführungsformen ändern können.

**[0040]** Wenn sich die Temperatur im Inneren des Brennmoduls **500** weiter erhöht, so erreicht die Temperatur an einem vorgegebenen Zeitpunkt  $X_2$  nach der Zeit  $X_1$  einen Pegel  $Y_2$ . In einigen Ausführungsformen ist  $X_2$



als 34,5 Sekunden nach **X1** definiert, obgleich es sich versteht, dass dieser Wert sich in alternativen Ausführungsformen ändern kann. Die Temperatur **Y2** ist größer als die Temperatur **Y1**, aber kann auch weniger als die statische Solltemperatur **Y4** sein (wenn auch nahe bei ihr). **X2** und **Y2** markieren das Ende der Anstiegsregion **720** sowie den Beginn der statischen Region **730**.

**[0041]** An einem Zeitpunkt **X3** erreicht der Wafer **520** eine Temperatur von **Y3**. In einigen Ausführungsformen ist die Temperatur **Y3** gleich der statischen Solltemperatur **Y4** oder unterscheidet sich von **Y4** um einen vernachlässigbaren Betrag (zum Beispiel weniger als ein Grad Celsius). **X3** und **Y3** markieren das Ende der statischen Region **730** und den Beginn der Region **740**.

**[0042]** Wie oben besprochen, verwendet die vorliegende Offenbarung eine kumulative Wärmemenge, die an dem Wafer anliegt, anstatt einer einzigen Temperaturmessung, um zu bestimmen, ob das Brennmodul **500** eine hinreichende Temperaturgleichmäßigkeit erzeugt. Eine Möglichkeit, die kumulative Wärmemenge auszudrücken, ist die Abnahme eines Integrals der Kurve **710** bei ihren verschiedenen Regionen, wie zum Beispiel in der Anstiegsregion **720** und in der statischen Region **730**. Oder anders ausgedrückt: Ein Bereich unter der Kurve (d. h. unter der Kurve **710**) in der Anstiegsregion **720** kann bestimmt werden, und ein anderer Bereich unter der Kurve in der statischen Region **730** kann bestimmt werden. Im Interesse der Einfachheit können mehrere Datenstichproben (in Bezug auf die Wafertemperatur) durch die Wafer-Wärmesensoren **1-29** genommen werden, und die durch jeden Wafer-Wärmesensor gemessenen Temperaturen können für jede der Regionen **720** und **730** summiert werden, um die Integralwerte, die mit jeder der Regionen **720** und **730** verknüpft sind, darzustellen oder anzunähern.

**[0043]** Um die folgenden Besprechungen zu vereinfachen, sind die Temperaturdatenpunkte für zwei verschiedene Wärmeplatten **1** und **2** in den **Fig. 10A-10B** bzw. den **Fig. 11A-11B** gezeigt. Genauer gesagt, veranschaulichen die **Fig. 10A-10B** eine Tabelle **810** und eine Tabelle **811**, die Daten für die Wärmeplatte **1** enthalten, und die **Fig. 11A-11B** veranschaulichen eine Tabelle **820** und eine Tabelle **821**, die Daten für die Wärmeplatte **2** enthalten. Sowohl Wärmeplatte **1** als auch Wärmeplatte **2** sind Ausführungsformen der oben besprochenen Wärmeplatte **530**, obgleich sie zu zwei verschiedenen tatsächlichen Brennmodulen gehören.

**[0044]** Wie in den **Fig. 10A-10B** zu sehen, enthält die Tabelle **810** die akkumulierten (zum Beispiel summierten) Wafertemperaturen, die durch jeden Wafer-Wärmesensor **1-29** (zum Beispiel die Reihen, die jeweils **RTD1-RTD29** entsprechen) sowohl in der Anstiegsregion **720** (unter der Spalte „Anstieg“) als auch in der statischen Region **730** (unter der Spalte „statisch“) gemessen wurde. In einigen Ausführungsformen werden die Temperaturdaten durch die Wafer-Wärmesensoren **1-29** alle 0,5 Sekunden gemessen. Jedoch ist das halbsekündige Intervall lediglich ein Beispiel und kann in anderen Ausführungsformen auch ein anderer Wert sein (zum Beispiel 0,1 Sekunden oder 1 Sekunde). Ab dem Beginnzeitpunkt **X1** bis zum Endzeitpunkt **X2** der Anstiegsregion **720** werden mehrere Datenstichproben in Bezug auf die gemessene Wafertemperatur genommen. Diese Datenstichproben werden für jeden Wafer-Wärmesensor **1-29** summiert, um die akkumulierten Temperaturwerte in der „Anstieg“-Spalte von Tabelle **810** zu erhalten. Gleichermaßen werden die akkumulierten Temperaturwerte für die „statische“ Spalte durch Summieren der Datenstichproben ab dem Zeitpunkt **X2** bis zu dem Zeitpunkt **X3** erhalten.

**[0045]** Zum Beispiel werden für den Wafer-Wärmesensor **1** (d. h. **RTD1**) die alle 0,5 Sekunden gemessenen Temperaturen ab dem Zeitpunkt **X1** bis zum Zeitpunkt **X2** (d. h. ab dem Beginn bis zum Ende der Anstiegsregion **720**) summiert, und der resultierende Wert ist 5030,92100, wie in Tabelle **810** gezeigt. Für denselben Wafer-Wärmesensor **1** werden die alle 0,5 Sekunden gemessenen Temperaturen ab dem Zeitpunkt **X2** bis zum Zeitpunkt **X3** summiert, und der resultierende Wert ist **4224,44400**. Insofern repräsentiert der Wert **5030,92100** die Gesamtwärmemenge, die an den Wafer-Wärmesensor **1** in der Anstiegsregion **720** angelegt wird, und der Wert **4224,44400** repräsentiert die Gesamtwärmemenge, die an den Wafer-Wärmesensor **1** in der statischen Region **730** angelegt wird. Oder anders ausgedrückt: Die Werte 5030,92100 und **4224,44400** stellen den Bereich unter der Kurve (oder das Integral) für die Kurve **710** für die Anstiegsregion **720** bzw. die statische Region **730** dar. Der Rest der Tabelle **810** wird durch Wiederholung der gleichen Schritte für jeden der Wafer-Wärmesensoren **1-29** ausgefüllt. Es versteht sich, dass einer der Gründe für die Verwendung mehrerer Stichproben zum Annähern des Integrals - anstatt der Ausführung der tatsächlichen Integralberechnung auf direkte Weise - in den Einschränkungen realer Hardware und Software liegt. Eine tatsächliche Integralberechnung kann eine unendliche Anzahl von Temperaturstichproben erfordern, was im Kontext der Halbleiterfertigung unrealistisch ist. Das Verwenden mehrerer Stichproben (zum Beispiel das Verwenden von Stichproben in kürzeren Zeitintervallen, wie zum Beispiel als 0,1 Sekunden oder auch alle 0,05 Sekunden) kann es ermöglichen, die im vorliegenden Text angesprochenen Berechnungen besser an die tatsächliche Integralberechnung anzunähern, jedoch um den Preis einer langsameren Prozesszeit. Gemäß den verschiedenen Aspekten der vorliegenden

Offenbarung erlaubt das Verwenden von Stichproben alle 0,5 Sekunden es, den oben besprochenen Prozess relativ rasch auszuführen, während auch die Ähnlichkeit der Integralberechnungen nahe genug erreicht werden kann. Jedoch versteht es sich, dass in alternativen Ausführungsformen das 0,5-Sekunden-Intervall in Abhängigkeit von den konkreten Erfordernissen justiert werden kann. Wenn zum Beispiel präzisere Daten benötigt werden, aber die Prozesszeit keine Rolle spielt, so kann das 0,5-Sekunden-Intervall verkürzt werden. Wenn umgekehrt der Prozess schneller ausgeführt werden muss, aber eine hohe Genauigkeit nicht so wichtig ist, so kann das 0,5-Sekunden-Intervall verlängert werden.

**[0046]** Nachdem Tabelle **810** generiert wurde, kann eine Standardabweichung für alle kumulativen Wärmemengendaten berechnet werden, die den Wafer-Wärmesensoren **1-29** in der Anstiegsregion **720** entsprechen. In einigen Ausführungsformen wird ein Drei-Sigma-Wert (zum Beispiel drei Standardabweichungen) berechnet, der in der veranschaulichten Ausführungsform 4,539033666 ist. Ein Durchschnittswert wird (zum Beispiel die Summe der Werte in der „statischen“ Spalte, geteilt durch **29**) ebenfalls für alle Wafer-Wärmesensoren **1-29** in der statischen Region **730** berechnet, der in der veranschaulichten Ausführungsform als 4224,57169 berechnet wird. Diese Werte werden später zum Bestimmen verwendet, ob die Wärmeplatte **1** qualifiziert werden soll, wie unten noch genauer besprochen wird.

**[0047]** Wie des Weiteren in den **Fig. 10A-10B** zu sehen, wird Tabelle **811** ähnlich wie Tabelle **810** generiert, mit einem Unterschied: Während die Reihen in Tabelle **810** den Datenstichproben für individuelle Wafer-Wärmesensoren **1-29** entsprechen, entsprechen die Reihen in Tabelle **811** den Datenstichproben für die Kanäle **CH1-CH13**. Wie oben besprochen, ist jeder der Kanäle **CH1-CH13** (in Tabelle **811** als **CH1-CH13** bezeichnet) mit einem oder mehreren Wafer-Wärmesensoren **1-29** verknüpft. Insofern können die Daten für jeden Kanal durch Mitteln der Daten für alle ihre zugehörigen Kanäle berechnet werden. Beispielsweise ist Kanal **CH1** mit den Wafer-Wärmesensoren **10,14,15,16** und **20** verknüpft. Wie in Tabelle **810** gezeigt, sind die gemessenen Daten für die Wafer-Wärmesensoren **10, 14, 15, 16** und **20** 5034,437, 5035,672, 5033,15, 5031,554 bzw. 5033,64. Diese Werte werden addiert und durch 5 geteilt (da es 5 Sensoren gibt), was das Ergebnis von 5033,69060 für die akkumulierte Temperatur für Kanal **CH1** in Tabelle **811** ergibt. Dieser Wert von 5033,69060 ist für die Anstiegsregion **720**, und die gleichen Schritte können für die statische Region **730** ausgeführt werden, um den Wert 4224,70320 zu erhalten. Für Kanäle, die keine mehreren zugeordneten Wafer-Wärmesensoren haben, sind ihre Werte in Tabelle **811** die gleichen wie die Werte in Tabelle **810** für den entsprechenden Wafer-Wärmesensor. Zum Beispiel ist Kanal **CH13** nur mit dem Wafersensor **27** verknüpft. Insofern sind die Werte für den Kanal **CH13** in Tabelle **811** die gleichen wie die Werte für den Wafer-Wärmesensor **27** in Tabelle **810**. Auf diese Weise wird der Rest der Tabelle **811** ausgefüllt.

**[0048]** Wie oben besprochen, stellen die in den Tabellen **810** und **811** gezeigten gemessenen Datenstichproben eine kumulative Wärmeenergie dar, die an den Wafer **520** angelegt und durch die Wärmeplatte **1** zugeführt wird. Die kumulative Wärmeenergie wird dann mit einer oder mehreren vorgegebenen Schwellen verglichen, um zu bestimmen, ob die Wärmeplatte **1** als eine für die Produktion taugliche Wärmeplatte qualifiziert werden sollte. Zum Beispiel bezieht sich eine vorgegebene Schwelle auf eine Bereichsschwankung der kumulativen Wärmeenergie, die an die Kanäle **CH1-CH13** in der Anstiegsregion angelegt wird. Wie in Tabelle **811** gezeigt, kann diese Bereichsschwankung als eine maximale kumulative Wärmeenergie (entsprechend Kanal **CH10**) minus der kleinsten kumulativen Wärmeenergie (entsprechend Kanal **CH4**) berechnet werden. Die Differenz wird als 2,90650 berechnet. In einer Ausführungsform ist die vorgegebene Schwelle **10**. Somit besteht die Wärmeplatte **1** diese vorgegebene Schwelle, da die Bereichsschwankung der kumulativen Wärmeenergie, die an die Kanäle **CH1-CH13** in der Anstiegsregion angelegt wird, 2,90650 ist, was weniger als **10** ist. Wärmeplatten mit Bereichsschwankungen größer als **10** gelten als im Wärmeplattenqualifikationstest durchgefallen.

**[0049]** Eine weitere vorgegebene Schwelle bezieht sich auf den Drei-Sigma-Wert der kumulativen Wärmeenergie in der Anstiegsregion. Wie in Tabelle **810** gezeigt, ist der berechnete Drei-Sigma-Wert 4,539033666. Die vorgegebene Schwelle kann als **10** definiert werden. Darum besteht die Wärmeplatte **1** diesen Test, da ihr Drei-Sigma-Wert von 4,539033666 weniger als **10** ist. Jedoch gelten Wärmeplatten, deren entsprechende Drei-Sigma-Werte größer als **10** sind, als im Wärmeplattenqualifikationstest durchgefallen.

**[0050]** Eine weitere vorgegebene Schwelle bezieht sich auf die Schwankungen bei der kumulativen Wärmeenergie in der statischen Region für verschiedene Wärmeplatten. Wir wenden uns den **Fig. 11A-11B** zu. Die Tabellen **820** und **821** werden in der gleichen Weise wie die Tabellen **810** bzw. **811** generiert, außer dass die Datenpunkte von einer anderen Wärmeplatte **2** genommen werden, wohingegen die Datenpunkte in den Tabellen **810** und **811** von der Wärmeplatte **1** genommen werden. Obgleich die Wärmeplatten **1** und **2** im Wesentlichen gleich ausgelegt und konfiguriert sind, können geringfügige Unterschiede zwischen ihnen bestehen. Darum können die Werte in den Tabellen **810** und **811** geringfügig anders sein als die Werte in den Tabellen

**820** und **821**. Wie in den Tabellen **810** und **820** gezeigt, ist die durchschnittliche kumulative Wärmeenergie für die statische Region 4224,57169 für Wärmeplatte **1** und 4225,02000 für Wärmeplatte **2**. Die Differenz zwischen ihnen wird als 0,44831 berechnet. Die vorgegebene Schwelle kann als 1,65 definiert werden. Darum bestehen die Wärmeplatten **1** und **2** diesen Test, da ihre Differenz von 0,44831 weniger als 1,65 ist. Jedoch gelten Wärmeplatten, deren Differenzen bei der kumulativen Wärmeenergie größer als 1,65 sind, als im Wärmeplattenqualifikationstest durchgefallen.

**[0051]** Es versteht sich, dass die Werte dieser oben besprochenen vorgegebenen Schwellen lediglich nicht-einschränkende Beispiele sind und dass in alternativen Ausführungsformen auch andere geeignete Werte verwendet werden können. Wenn zum Beispiel strengere Qualifikationsstandards notwendig sind, dann kann die vorgegebene Schwelle von **10** für die oben besprochene Bereichsschwankung in einigen Ausführungsformen auf **3** gesenkt werden. Des Weiteren sind die Algorithmen, die zum Berechnen der oben besprochenen kumulativen Wärmeenergien verwendet werden, ebenfalls nicht-einschränkende Beispiele. Außerdem können die gleichen Tests für die statische Region **720** wie für die statische Region **730** ausgeführt werden. Des Weiteren versteht es sich, dass die Qualifikation der Brennmodule das Bestehen eines oder mehrerer, aber nicht unbedingt aller oben besprochenen Tests (oder anderer zusätzlicher Tests bezüglich der kumulativen Wärmeenergiemenge beinhalten kann). Es versteht sich außerdem, dass die Tests in Bezug auf die kumulative Wärmeenergiemenge auch für andere Regionen als die Anstiegsregion **720** oder die statische Region **730** wiederholt werden können, beispielsweise für die Region **740**. Ungeachtet dessen, wie die Qualifikationstests für das Brennmodul genau ausgeführt werden, versteht es sich, dass die Qualifikationstests unter Verwendung der kumulativen Wärmemenge oder Wärmeenergie statt nur einer einzigen Messung der Temperatur erfolgen. Darum kann die vorliegende Offenbarung eine präzisere Einschätzung der Wärmegleichmäßigkeitsleistung der Brennmodule ermöglichen.

**[0052]** **Fig. 12** ist ein Flussdiagramm, das ein Verfahren **900** zum Ausführen von Qualifikationstests für das Brennmodul **500** veranschaulicht. In verschiedenen Ausführungsformen können ein oder mehrere Schritte des Verfahrens **900** mindestens teilweise unter Verwendung einer Steuereinheit ausgeführt werden, wie zum Beispiel der Steuereinheit **480** von **Fig. 5**.

**[0053]** Das Verfahren **900** enthält einen Schritt **910** zum Überprüfen von Temperaturen, zum Beispiel unter Verwendung der oben besprochenen Wärmesensoren **1-29** zum Messen von Temperaturen. Die Sensoren können auf einem Test-Wafer, wie zum Beispiel dem Wafer **520**, implementiert werden. Die Temperaturen können gemessen werden, wenn das Brennmodul **500** die Temperaturen erhöht (zum Beispiel in der Anstiegsregion **720**), oder wenn die Temperatur größtenteils einen eingeschwungenen Zustand erreicht hat (zum Beispiel in der statischen Region **730** oder **740**).

**[0054]** Das Verfahren **900** enthält einen Schritt **920** zum Optimieren der Betriebsparameter. Die Betriebsparameter können die Parameter des Brennmoduls sein, die durch die oben besprochene Steuereinheit **480** gesteuert oder optimiert werden können. In einigen Ausführungsformen kann die Optimierung der Parameter enthalten, die Einstellungen eines oder mehrerer der Kanäle **CH1-CH13** zu ändern, um die durch diesen Kanal generierte Wärmemenge zu justieren. Zum Beispiel können die durch die Wärmesensoren gemessenen Temperaturen, die mit Kanal **CH1** verknüpft sind, wesentlich größer sein als die durch die Wärmesensoren gemessenen Temperaturen für den Rest der Kanäle. Dies kann anzeigen, dass Kanal **CH1** zu viel Wärme generiert. Um Temperaturgleichmäßigkeit sicherzustellen, kann Schritt **920** die Einstellungen des Brennmoduls **500** dergestalt justieren, dass Kanal **CH1** weniger Wärme als zuvor generiert.

**[0055]** Das Verfahren **900** enthält einen Schritt **930**, um zu bestimmen, ob eine Anzahl N von Schleifen vollendet wurde. Das Ausführen der Schritte **910** und **920** kann als eine einzelne Schleife angesehen werden. In einigen Ausführungsformen ist N gleich **3**. In alternativen Ausführungsformen werden andere Werte für N verwendet. Wenn die Antwort aus dem Bestimmungsschritt **930** Nein ist, so kehrt das Verfahren **900** zu Schritt **910** zurück, um mindestens eine weitere Schleife der Schritte **910** und **920** zu wiederholen.

**[0056]** Wenn die Antwort aus dem Bestimmungsschritt **930** Ja ist, dann schreitet das Verfahren **900** zu einem Schritt **940** voran, um die kumulativen Wärmemengendaten des Brennmoduls mit einer oder mehreren vorgegebenen Schwellen zu vergleichen. Wie oben besprochen, verwendet die vorliegende Offenbarung eine kumulative Wärmemenge als Maßstab für die Wärmegleichmäßigkeitsleistung des Brennmoduls, was präziser ist als das bloße Messen einer Temperatur. In verschiedenen Ausführungsformen können die Messung der kumulativen Wärmemenge und der Vergleich mit den vorgegebenen Schwellen gemäß den Algorithmen ausgeführt werden, die oben mit Bezug auf die **Fig. 9-Fig. 11** besprochen wurden.

**[0057]** Auf der Grundlage der Ergebnisse von Schritt **940** führt das Verfahren **900** einen Schritt **950** aus, um zu bestimmen, ob das Brennmodul als für die Produktion tauglich qualifiziert werden sollte. Wenn zum Beispiel der Vergleich zeigt, dass die gemessene kumulative Wärmemengendaten nicht die vorgegebene Schwelle erfüllen (zum Beispiel die vorgegebene Schwelle überschreiten, obwohl sie darunter liegen sollten), dann gilt, dass das Brennmodul die Qualifikation nicht bestanden hat und dass zusätzliche Schritte unternommen werden müssen, bevor das Brennmodul qualifiziert werden kann. Die Schritte **940** und **950** können zusammen als ein Beurteilungsschritt bezeichnet werden, da diese Schritte beurteilen, ob das Brennmodul tauglich ist, für die tatsächliche Halbleiterfertigung verwendet zu werden.

**[0058]** Es ist jedoch zu beachten, dass sich in einigen Ausführungsformen die Qualifikation hier auf den PEB-Prozess bezieht, und nicht auf andere Brenn- oder thermische Erwärmungsprozesse. Oder anders ausgedrückt: Das Brennmodul kann hier dafür qualifiziert werden, in PEB-fremden thermischen Erwärmungsprozessen in der tatsächlichen Fertigung verwendbar zu sein, da diese thermischen Erwärmungsprozesse möglicherweise keine so strenge Erwärmungsgleichmäßigkeit verlangen wie der PEB-Prozess. Darum können die Qualifikationsstandards zum Qualifizieren eines Brennmoduls, das in PEB-fremden Prozessen verwendet werden soll, niedriger sein, und für ein Brennmodul kann geurteilt werden, dass es die PEB-fremden Qualifikationstests besteht, selbst wenn es die strengeren PEB-Qualifikationstests nicht bestehen würde.

**[0059]** Wenn die Antwort aus dem Schritt **950** Ja ist, dann schreitet das Verfahren **900** zu Schritt **960** voran, um das Brennmodul als für die tatsächliche Halbleiterfertigung verwendungstauglich zu qualifizieren, insbesondere als ein Brennmodul in einem Brennprozess nach dem Belichten. Wenn die Antwort aus dem Schritt **950** Nein ist, dann schreitet das Verfahren **900** zu Schritt **970** voran, um zu bestimmen, ob eine Anzahl von M Schleifen erreicht wurde, wobei  $M > N$ . In einigen Ausführungsformen ist M gleich **10**. Wie oben besprochen, zählt die Ausführung der Schritte **910** und **920** zusammen als eine Schleife. Wenn eine Anzahl M von Schleifen nicht erreicht wurde, dann geht das Verfahren wieder zu Schritt **910** zurück. Wenn die Anzahl M von Schleifen erreicht wurde und die Beurteilungsergebnisse der Schritte **940** und **950** besagen, dass das Brennmodul immer noch nicht zur Verwendung in der Produktion geeignet ist, dann schreitet das Verfahren **900** zu Schritt **980** voran, um das Brennmodul zu disqualifizieren. In einigen Ausführungsformen, wo das Brennmodul von einem Anbieter gekauft wurde, kann das Brennmodul zu diesem Anbieter zurückgesendet werden, um repariert oder ersetzt zu werden.

**[0060]** In anderen Ausführungsformen können bestimmte Korrekturen an dem Brennmodul ausgeführt werden, ohne es an den Anbieter zurückzusenden. Zum Beispiel kann die Höhe eines oder mehrerer der Spaltstifte **540** justiert werden, oder der Unterdruck in einem oder mehreren der Vakuumlöcher **550** kann justiert werden, oder die Abzugsgeschwindigkeit oder -konfiguration kann justiert werden, um die fehlende Temperaturgleichmäßigkeit zu kompensieren. Nachdem diese Justierungen vorgenommen wurden, kann das Verfahren **900** wiederholt werden, um zu sehen, ob das Brennmodul (nachdem diese Justierungen vorgenommen wurden) qualifiziert werden kann. Wenn das Brennmodul noch immer nicht qualifiziert werden kann, dann kann es an den Anbieter zurückgesendet werden. Es versteht sich außerdem, dass in einigen Ausführungsformen diese Justierungen (in Bezug auf den Spaltstift, die Vakuumlöcher oder die Abzugskomponenten) auch nach dem Beurteilungsprozess vorgenommen werden können, zum Beispiel nachdem die Schritte **940** und **950** ausgeführt wurden.

**[0061]** Fig. 13 ist ein Flussdiagramm, das ein vereinfachtes Verfahren **1000** zum Ausführen von Qualifikationstests für ein Brennmodul veranschaulicht. Das Verfahren **1000** enthält einen Schritt **1010** des Messens einer kumulativen Wärmeenergiemenge eines Brennprozesses. Der Brennprozess wird durch ein Brennmodul ausgeführt, um einen Wafer aufzuheizen.

**[0062]** Das Verfahren **1000** enthält einen Schritt **1020** des Bestimmens, auf der Grundlage der gemessenen kumulativen Wärmeenergiemenge, ob das Brennmodul für die Verwendung in der tatsächlichen Halbleiterfertigung qualifiziert werden sollte.

**[0063]** Das Verfahren **1000** enthält folgenden Schritt **1030**: in Reaktion auf eine Bestimmung, dass das Brennmodul für die Verwendung in der tatsächlichen Halbleiterfertigung qualifiziert werden sollte, Verwenden des Brennmoduls zum Ausführen eines Brennprozesses nach dem Belichten (PEB).

**[0064]** Das Verfahren **1000** enthält folgenden Schritt **1040**: in Reaktion auf eine Bestimmung, dass das Brennmodul nicht qualifiziert werden sollte, Modifizieren einer oder mehrerer Hardware-Komponenten des Brennmoduls. Danach kann das Verfahren **1000** die Schritte **1010** und **1020** wiederholen. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul mehrere Spaltstifte, die zwischen dem Wafer und einer Wärmeplatte angeordnet

sind, und das Modifizieren umfasst das Justieren einer Höhe eines oder mehrerer der Spaltstifte. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul mehrere Vakuumlöcher, die in einer Wärmeplatte angeordnet, wobei die Vakuumlöcher jeweils dafür konfiguriert sind, ein teilweises Vakuum herzustellen, um eine Position des Wafers zu sichern, und wobei das Modifizieren das Justieren des teilweisen Vakuums, das durch eines oder mehrere der Vakuumlöcher erzeugt wird, umfasst. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul eine Abzugskomponente, die dafür konfiguriert ist, Verunreinigungen aus dem Brennmodul zu entfernen, und wobei das Modifizieren das Justieren einer Geschwindigkeit der Abzugskomponente umfasst.

**[0065]** In einigen Ausführungsformen wird der Messungsschritt **1010** unter Verwendung eines oder mehrerer Wärmesensoren ausgeführt, die auf dem Wafer angeordnet sind.

**[0066]** In einigen Ausführungsformen umfasst der Messungsschritt **1010** Folgendes: Messen mehrerer Temperaturen des Wafers jeweils an mehreren Zeitpunkten; und Berechnen einer Summe der mehreren Temperaturen als die kumulative Wärmeenergiemenge.

**[0067]** In einigen Ausführungsformen kann das Verfahren **1000** das Messen mehrere Male wiederholen, um mehrere verschiedene kumulative Wärmeenergiemengen zu erhalten, wobei jedes Mal, wenn das Messen ausgeführt wird, ein anderer der mehreren Wärmesensoren verwendet wird. In diesem Fall umfasst das Bestimmen Folgendes: Berechnen einer Standardabweichung der mehreren verschiedenen kumulativen Wärmeenergiemengen; und Bestimmen, ob die berechnete Standardabweichung eine vorgegebene Schwelle einhält. In einigen Ausführungsformen umfasst das Berechnen der Standardabweichung das Berechnen eines Drei-Sigma-Wertes.

**[0068]** In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul mehrere Wärmezonen, und der Bestimmungsschritt **1010** umfasst folgende Teilschritte: Bestimmen, auf der Grundlage des Messens, einer jeweiligen kumulativen Wärmeenergiemenge für jede der Wärmezonen, wobei eine erste der Wärmezonen eine maximale kumulative Wärmeenergiemenge hat und eine zweite der Wärmezonen eine kleinste kumulative Wärmeenergiemenge hat; Berechnen einer Differenz zwischen der maximalen kumulativen Wärmeenergiemenge und der kleinsten kumulativen Wärmeenergiemenge; und Bestimmen, ob die Differenz weniger ist als eine vorgegebene Schwelle.

**[0069]** In einigen Ausführungsformen wird das Messen für mehrere Brennmodule ausgeführt, um eine andere kumulative Wärmeenergiemenge für jedes der Brennmodule zu erhalten; und das Bestimmen umfasst das Bestimmen, ob die andere kumulative Wärmeenergiemenge weniger ist als eine vorgegebene Schwelle.

**[0070]** Es versteht sich, dass zusätzliche Schritte vor, während oder nach den Schritten **1010** und **1040** von **Fig. 13** ausgeführt werden können. Zum Beispiel kann das Verfahren **1000** einen Schritt enthalten, das Brennmodul an einen Anbieter zur Reparatur oder zum Austausch zurückzusenden, wenn das Brennmodul disqualifiziert wird. Andere Prozesse werden im vorliegenden Text aus Gründen der Einfachheit nicht im Detail besprochen.

**[0071]** Auf der Grundlage der obigen Besprechungen ist zu erkennen, dass die vorliegende Offenbarung verschiedene Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren zum Qualifizieren von Brennmodulen besitzt. Es versteht sich jedoch, dass nicht unbedingt alle Vorteile im vorliegenden Text besprochen werden und dass andere Ausführungsformen andere Vorteile bieten können, und dass kein bestimmter Vorteil für alle Ausführungsformen erforderlich ist. Einer der Vorteile ist, dass die vorliegende Offenbarung durch die Verwendung einer kumulativen Wärmeenergiemenge als ein Maßstab für die Wärmegleichmäßigkeitsleistung präziser vorhersagen kann, wie gut das Brennmodul (das die Wärmeplatte enthält) in der Produktionspraxis arbeiten wird. Somit ist das Vertrauen größer, dass das Brennmodul, das den Qualifikationstest besteht, gut in Herstellungsprozessen wie zum Beispiel den PEB-Prozessen, wo Wärmegleichmäßigkeitssteuerung wichtig ist, arbeiten kann. Die Bauelemente, die unter Verwendung der Brennmodule hergestellt werden, die gemäß den Aspekten der vorliegenden Offenbarung qualifiziert wurden, haben eine verbesserte Leistung, zum Beispiel eine bessere Gleichmäßigkeit der kritischen Abmessung und einen besseren Bereich der kritischen Abmessung. Ein weiterer Vorteil ist, dass die oben besprochenen Prozesse mit existierenden Herstellungsprozessflüssen kompatibel sind und einfach zu implementieren sind.

**[0072]** Die vorliegende Offenbarung stellt ein Verfahren bereit. Das Verfahren enthält: Messen einer kumulativen Wärmeenergiemenge eines Brennprozesses, wobei der Brennprozess durch ein Brennmodul ausgeführt wird, um einen Wafer aufzuheizen; und Bestimmen, auf der Grundlage der gemessenen kumulativen Wärmeenergiemenge, ob das Brennmodul für die Verwendung in der tatsächlichen Halbleiterfertigung qualifi-

ziert werden sollte. In einigen Ausführungsformen wird das Messen unter Verwendung eines oder mehrerer Wärmesensoren ausgeführt, die auf dem Wafer angeordnet sind. In einigen Ausführungsformen umfasst das Messen Folgendes: Messen mehrerer Temperaturen des Wafers jeweils an mehreren Zeitpunkten; und Berechnen einer Summe der mehreren Temperaturen als die kumulative Wärmeenergiemenge. In einigen Ausführungsformen umfasst das Verfahren des Weiteren Folgendes: Wiederholen des Messens mehrere Male, um mehrere verschiedene kumulative Wärmeenergiemengen zu erhalten, wobei jedes Mal, wenn das Messen ausgeführt wird, ein anderer der mehreren Wärmesensoren verwendet wird. In einigen Ausführungsformen umfasst das Bestimmen Folgendes: Berechnen einer Standardabweichung der mehreren anderen kumulativen Wärmeenergiemengen; und Bestimmen, ob die berechnete Standardabweichung eine vorgegebene Schwelle einhält. In einigen Ausführungsformen umfasst das Berechnen der Standardabweichung das Berechnen eines Drei-Sigma-Wertes. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul mehrere Wärmezonen, und das Bestimmen umfasst Folgendes: Bestimmen, auf der Grundlage des Messens, einer jeweiligen kumulativen Wärmeenergiemenge für jede der Wärmezonen, wobei eine erste der Wärmezonen eine maximale kumulative Wärmeenergiemenge hat und eine zweite der Wärmezonen eine kleinste kumulative Wärmeenergiemenge hat; Berechnen einer Differenz zwischen der maximalen kumulativen Wärmeenergiemenge und der kleinsten kumulativen Wärmeenergiemenge; und Bestimmen, ob die Differenz weniger ist als eine vorgegebene Schwelle. In einigen Ausführungsformen wird das Messen für mehrere Brennmodule ausgeführt, um eine andere kumulative Wärmeenergiemenge für jedes der Brennmodule zu erhalten; und das Bestimmen umfasst das Bestimmen, ob die andere kumulative Wärmeenergiemenge weniger ist als eine vorgegebene Schwelle. In einigen Ausführungsformen enthält das Verfahren des Weiteren: in Reaktion auf eine Bestimmung, dass das Brennmodul nicht qualifiziert werden sollte, Modifizieren einer oder mehrerer Hardware-Komponenten des Brennmoduls; und Wiederholen des Messens und des Bestimmens, nachdem die eine oder die mehreren Hardware-Komponenten des Brennmoduls modifiziert wurden. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul mehrere Spaltstifte, die zwischen dem Wafer und einer Wärmeplatte angeordnet sind; und das Modifizieren umfasst das Justieren einer Höhe eines oder mehrerer der Spaltstifte. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul mehrere Vakuumlöcher, die in einer Wärmeplatte angeordnet sind, wobei die Vakuumlöcher jeweils dafür konfiguriert sind, ein teilweises Vakuum herzustellen, um eine Position des Wafers zu sichern; und wobei das Modifizieren das Justieren des teilweisen Vakuums umfasst, das durch eines oder mehrere der Vakuumlöcher erzeugt wird. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul eine Abzugskomponente, die dafür konfiguriert ist, Verunreinigungen aus dem Brennmodul zu entfernen; und wobei das Modifizieren das Justieren einer Geschwindigkeit der Abzugskomponente umfasst. In einigen Ausführungsformen enthält das Verfahren des Weiteren: nach einer Bestimmung, dass das Brennmodul für die Verwendung in der tatsächlichen Halbleiterfertigung qualifiziert werden sollte, Verwenden des Brennmoduls zum Ausführen eines Brennprozesses nach dem Belichten (PEB).

**[0073]** Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Offenbarung beinhaltet ein Verfahren. Das Verfahren enthält: Brennen eines Test-Wafers, der in einem Brennmodul angeordnet ist; Messen, über einen oder mehrere Temperatursensoren, einer kumulativen Wärmemenge, die dem Test-Wafer während des Brennens zugeführt wird; Vergleichen der gemessenen kumulativen Wärmemenge mit einer vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle; in Reaktion auf das Vergleichen, das anzeigt, dass die gemessene kumulative Wärmemenge innerhalb der vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle liegt, Bestimmen, dass das Brennmodul für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist; und in Reaktion auf das Vergleichen, das anzeigt, dass die gemessene kumulative Wärmemenge außerhalb der vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle liegt, Bestimmen, dass das Brennmodul nicht für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist. In einigen Ausführungsformen enthält das Verfahren des Weiteren: in Reaktion auf das Bestimmen, dass das Brennmodul nicht für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist, Ausführen einer oder mehrerer Software- oder Hardware-Justierungen für das Brennmodul.

**[0074]** Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Offenbarung beinhaltet ein System. Das System enthält Folgendes: ein Brennmodul, das dafür konfiguriert ist, einen Test-Wafer aufzuheizen; mehrere Wärmesensoren, die innerhalb des Brennmoduls angeordnet sind, wobei die Wärmesensoren jeweils dafür konfiguriert sind, Temperaturdaten zu messen, die mit dem Brennmodul verknüpft sind; und eine Steuereinheit, die dafür konfiguriert ist, Operationen auszuführen, die enthalten: Erhöhen einer Temperatur des Brennmoduls über einen Zeitraum; Bestimmen, auf der Grundlage der gemessenen Temperaturdaten, während die Temperatur des Brennmoduls erhöht wird, einer kumulativen Wärmemenge, die durch das Brennmodul über den Zeitraum zugeführt wird; und selektives Qualifizieren des Brennmoduls, auf der Grundlage der bestimmten kumulativen Wärmemenge, als für die tatsächliche Halbleiterfertigung nutzbar. In einigen Ausführungsformen sind die mehreren Wärmesensoren auf verschiedenen Regionen des Test-Wafers implementiert. In einigen Ausführungsformen enthält das Brennmodul eine Platte, die mehrere Erwärmungskanäle aufweist, und jeder der Erwärmungskanäle ist mit einem oder mehreren der Wärmesensoren verknüpft. In einigen Ausführungsformen ist das Brennmodul

ein Teil eines Werkzeugs zum Brennen nach dem Belichten (PEB). In einigen Ausführungsformen umfasst das selektive Qualifizieren Folgendes: Qualifizieren des Brennmoduls als für die tatsächliche Halbleiterfertigung nutzbar, wenn die bestimmte kumulative Wärmemenge innerhalb einer vorgegebenen kumulativen Wärmemengengrenze liegt; und Disqualifizieren des Brennmoduls für die tatsächliche Halbleiterfertigung, wenn die bestimmte kumulative Wärmemenge eine vorgegebene kumulative Wärmemengengrenze übersteigt.

**[0075]** Das oben Dargelegte umreißt Merkmale verschiedener Ausführungsformen, so dass der Fachmann die Aspekte der vorliegenden Offenbarung besser verstehen kann. Dem Fachmann ist klar, dass er die vorliegende Offenbarung ohne Weiteres als Basis für das Entwerfen oder Modifizieren anderer Prozesse und Strukturen verwenden kann, um die gleichen Zwecke und/oder die gleichen Vorteile wie bei den im vorliegenden Text vorgestellten Ausführungsformen zu erreichen. Dem Fachmann sollte auch klar sein, dass solche äquivalenten Bauformen nicht das Wesen und den Schutzzumfang der vorliegenden Offenbarung verlassen, und dass er verschiedene Änderungen, Substituierungen und Modifizierungen an der vorliegenden Erfindung vornehmen kann, ohne vom Wesen und Schutzzumfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Verfahren, das Folgendes umfasst:

Messen einer kumulativen Wärmeenergiemenge eines Brennprozesses, wobei der Brennprozess durch ein Brennmodul ausgeführt wird, um einen Wafer aufzuheizen; und Bestimmen, auf der Grundlage der gemessenen kumulativen Wärmeenergiemenge, ob das Brennmodul für die Verwendung in der tatsächlichen Halbleiterfertigung qualifiziert werden sollte.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Messen unter Verwendung eines oder mehrerer Wärmesensoren ausgeführt wird, die auf dem Wafer angeordnet sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Messen Folgendes umfasst:

Messen mehrerer Temperaturen des Wafers jeweils an mehreren Zeitpunkten; und Berechnen einer Summe der mehreren Temperaturen als die kumulative Wärmeenergiemenge.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, das des Weiteren Folgendes umfasst:

Wiederholen des Messens mehrere Male, um mehrere verschiedene kumulative Wärmeenergiemengen zu erhalten, wobei jedes Mal, wenn das Messen ausgeführt wird, ein anderer der mehreren Wärmesensoren verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Bestimmen Folgendes umfasst:

Berechnen einer Standardabweichung der mehreren anderen kumulativen Wärmeenergiemengen; und Bestimmen, ob die berechnete Standardabweichung eine vorgegebene Schwelle einhält.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Berechnen der Standardabweichung das Berechnen eines Drei-Sigma-Wertes umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Brennmodul mehrere Wärmezonen enthält, und wobei das Bestimmen Folgendes umfasst:

Bestimmen, auf der Grundlage des Messens, einer jeweiligen kumulativen Wärmeenergiemenge für jede der Wärmezonen, wobei eine erste der Wärmezonen eine maximale kumulative Wärmeenergiemenge hat und eine zweite der Wärmezonen eine kleinste kumulative Wärmeenergiemenge hat; Berechnen einer Differenz zwischen der maximalen kumulativen Wärmeenergiemenge und der kleinsten kumulativen Wärmeenergiemenge; und Bestimmen, ob die Differenz weniger ist als eine vorgegebene Schwelle.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei:

das Messen für mehrere Brennmodule ausgeführt wird, um eine andere kumulative Wärmeenergiemenge für jedes der Brennmodule zu erhalten; und das Bestimmen das Bestimmen umfasst, ob die andere kumulative Wärmeenergiemenge weniger ist als eine vorgegebene Schwelle.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, das des Weiteren Folgendes umfasst:

in Reaktion auf eine Bestimmung, dass das Brennmodul nicht qualifiziert werden sollte, Modifizieren einer oder mehrerer Hardware-Komponenten der Brennmodule; und

Wiederholen des Messens und des Bestimmens, nachdem die eine oder die mehreren Hardware-Komponenten des Brennmoduls modifiziert wurden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei:  
das Brennmodul mehrere Spaltstifte enthält, die zwischen dem Wafer und einer Wärmeplatte angeordnet sind;  
und  
wobei das Modifizieren das Justieren einer Höhe eines oder mehrerer der Spaltstifte umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei:  
das Brennmodul mehrere Vakuumlöcher enthält, die in einer Wärmeplatte angeordnet sind, wobei die Vakuumlöcher jeweils dafür konfiguriert sind, ein teilweises Vakuum herzustellen, um eine Position des Wafers zu sichern; und  
das Modifizieren das Justieren des teilweisen Vakuums umfasst, das durch eines oder mehrere der Vakuumlöcher erzeugt wird.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 9 bis 11, wobei:  
das Brennmodul eine Abzugskomponente enthält, die dafür konfiguriert ist, Verunreinigungen aus dem Brennmodul zu entfernen; und  
das Modifizieren das Justieren einer Geschwindigkeit der Abzugskomponente umfasst.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, das des Weiteren Folgendes umfasst:  
nach einer Bestimmung, dass das Brennmodul für die Verwendung in der tatsächlichen Halbleiterfertigung qualifiziert werden sollte, Verwenden des Brennmoduls zum Ausführen eines Brennprozesses nach dem Belichten (Post-Exposure Baking, PEB).

14. Verfahren, das Folgendes umfasst:  
Brennen eines Test-Wafers, der in einem Brennmodul angeordnet ist;  
Messen, über einen oder mehrere Temperatursensoren, einer kumulativen Wärmemenge, die dem Test-Wafer während des Brennens zugeführt wird;  
Vergleichen der gemessenen kumulativen Wärmemenge mit einer vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle;  
in Reaktion auf das Vergleichen, das anzeigt, dass die gemessene kumulative Wärmemenge innerhalb der vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle liegt, Bestimmen, dass das Brennmodul für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist; und  
in Reaktion auf das Vergleichen, das anzeigt, dass die gemessene kumulative Wärmemenge außerhalb der vorgegebenen kumulativen Wärmemengenschwelle liegt, Bestimmen, dass das Brennmodul nicht für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, das des Weiteren Folgendes umfasst:  
in Reaktion auf das Bestimmen, dass das Brennmodul nicht für die tatsächliche Halbleiterfertigung qualifiziert ist, Ausführen einer oder mehrerer Software- oder Hardware-Justierungen für das Brennmodul.

16. System, das Folgendes umfasst:  
ein Brennmodul, das dafür konfiguriert ist, einen Test-Wafer aufzuheizen;  
mehrere Wärmesensoren, die innerhalb des Brennmoduls angeordnet sind, wobei die Wärmesensoren jeweils dafür konfiguriert sind, Temperaturdaten zu messen, die mit dem Brennmodul verknüpft sind; und  
eine Steuereinheit, die dafür konfiguriert ist, Operationen auszuführen, die enthalten:  
Erhöhen einer Temperatur des Brennmoduls über einen Zeitraum;  
Bestimmen, auf der Grundlage der gemessenen Temperaturdaten, während die Temperatur des Brennmoduls erhöht wird, einer kumulativen Wärmemenge, die durch das Brennmodul über den Zeitraum zugeführt wird; und  
selektives Qualifizieren des Brennmoduls, auf der Grundlage der bestimmten kumulativen Wärmemenge, als für die tatsächliche Halbleiterfertigung nutzbar.

17. System nach Anspruch 16, wobei die mehreren Wärmesensoren auf verschiedenen Regionen des Test-Wafers implementiert sind.

18. System nach Anspruch 17, wobei das Brennmodul eine Platte enthält, die mehrere Erwärmungskanäle aufweist, und wobei jeder der Erwärmungskanäle mit einem oder mehreren der Wärmesensoren verknüpft ist.



19. System nach einem der vorangehenden Ansprüche 16 bis 18, wobei das Brennmodul ein Teil eines Werkzeugs zum Brennen nach dem Belichten (PEB) ist.

20. System nach einem der vorangehenden Ansprüche 16 bis 19, wobei das selektive Qualifizieren Folgendes umfasst:

Qualifizieren des Brennmoduls als für die tatsächliche Halbleiterfertigung nutzbar, wenn die bestimmte kumulative Wärmemenge innerhalb einer vorgegebenen kumulativen Wärmemengengrenze liegt; und

Disqualifizieren des Brennmoduls für die tatsächliche Halbleiterfertigung, wenn die bestimmte kumulative Wärmemenge eine vorgegebene kumulative Wärmemengengrenze übersteigt.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

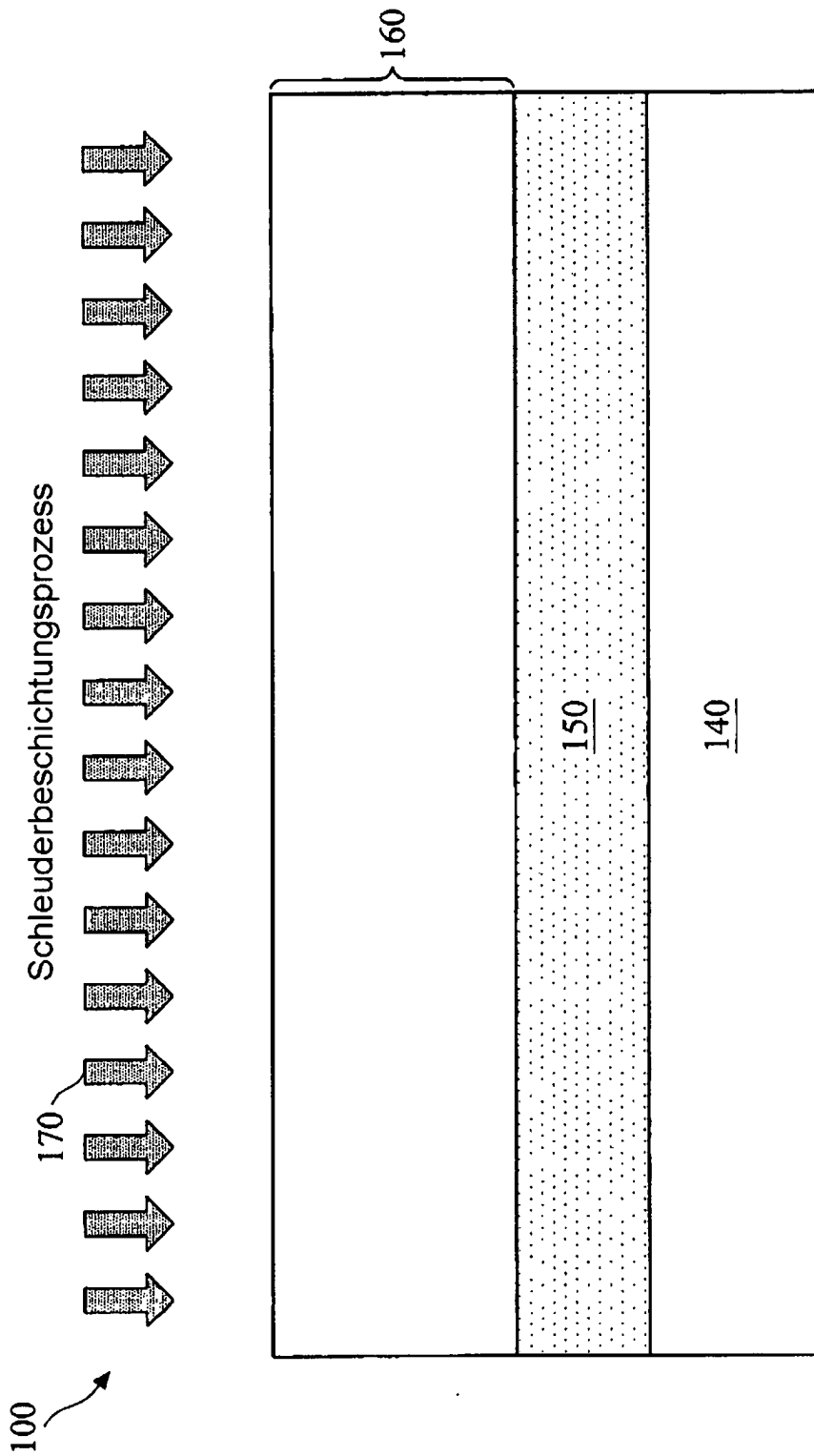


FIG. 1

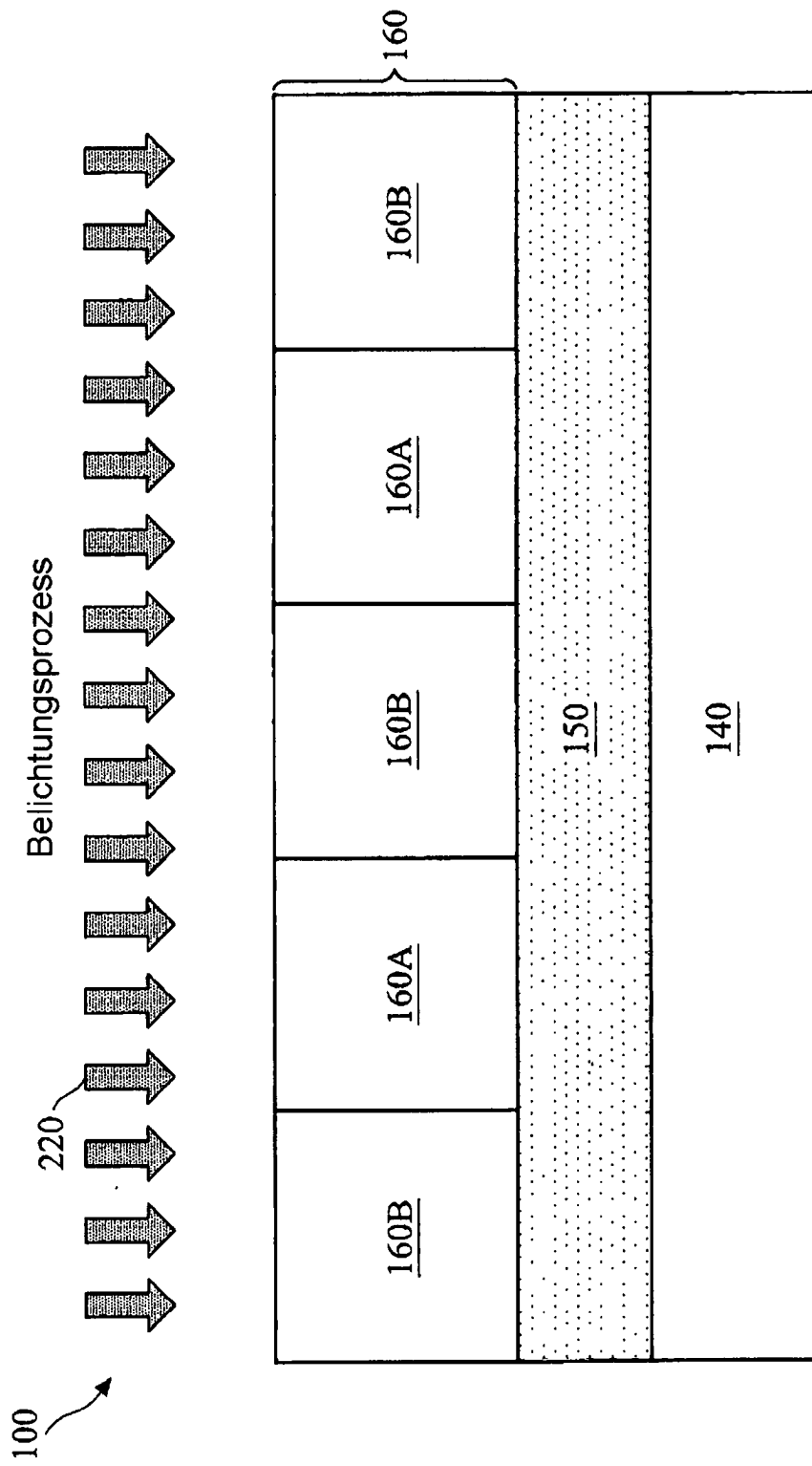


FIG. 2

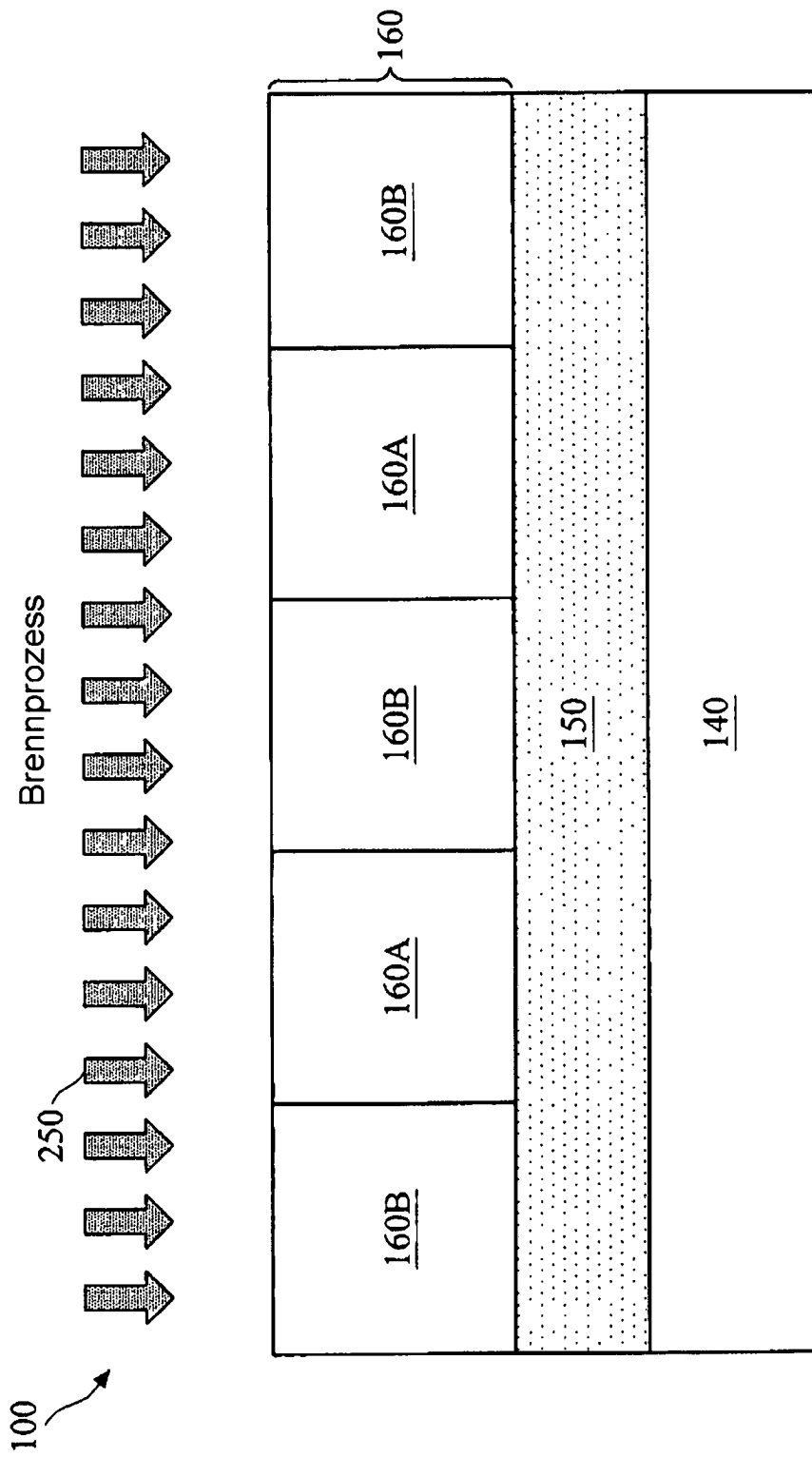


FIG. 3

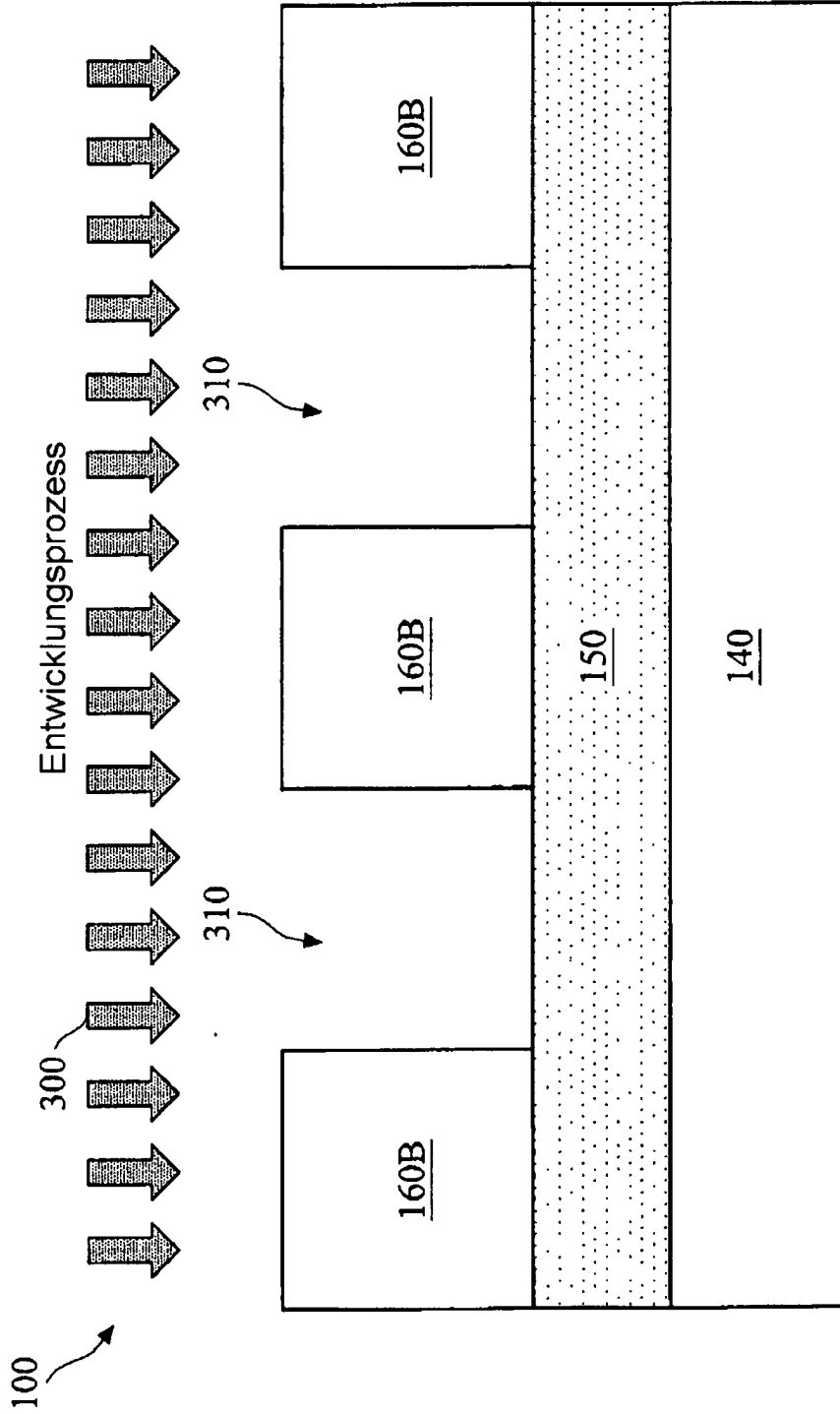


FIG. 4

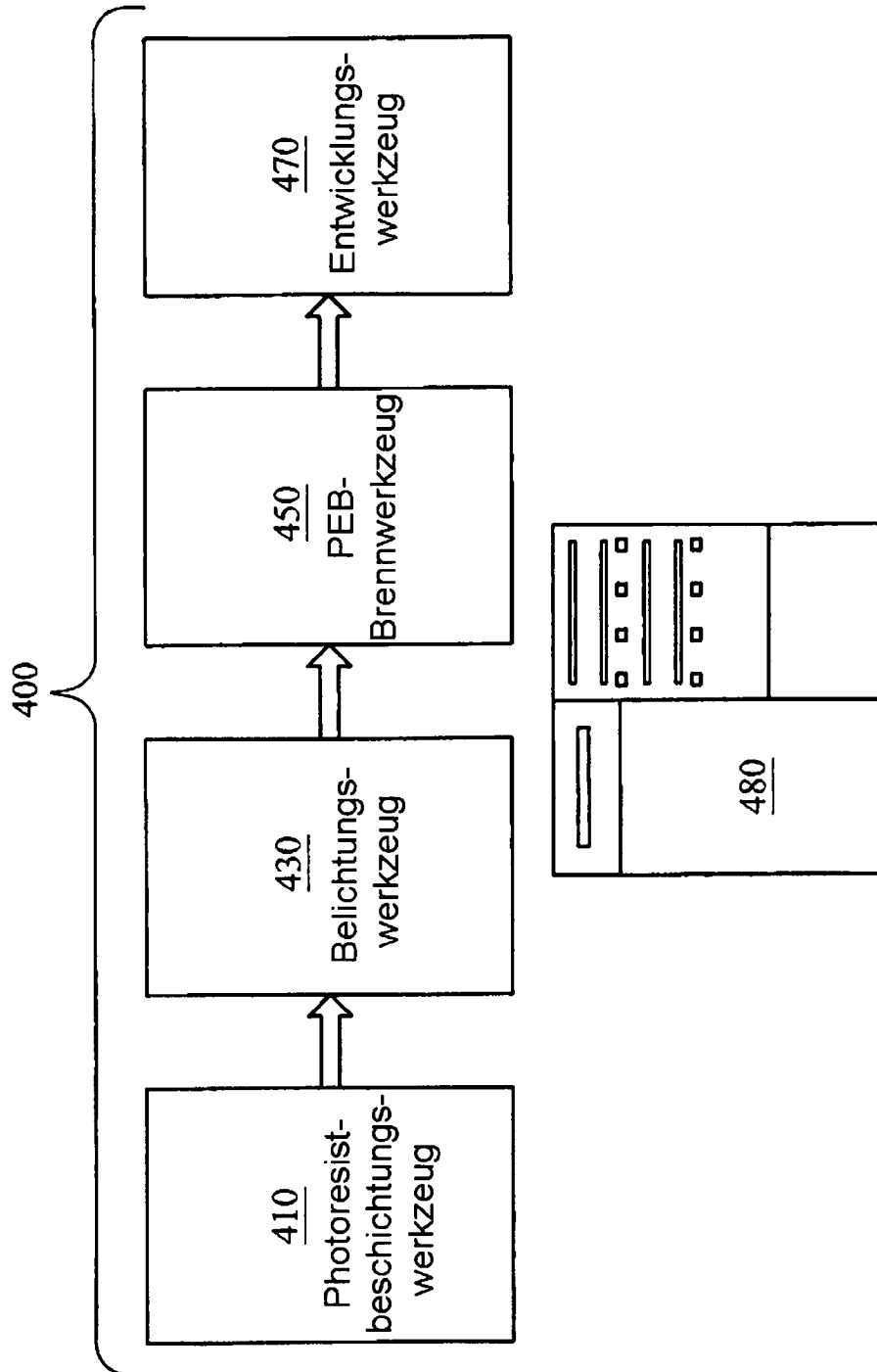
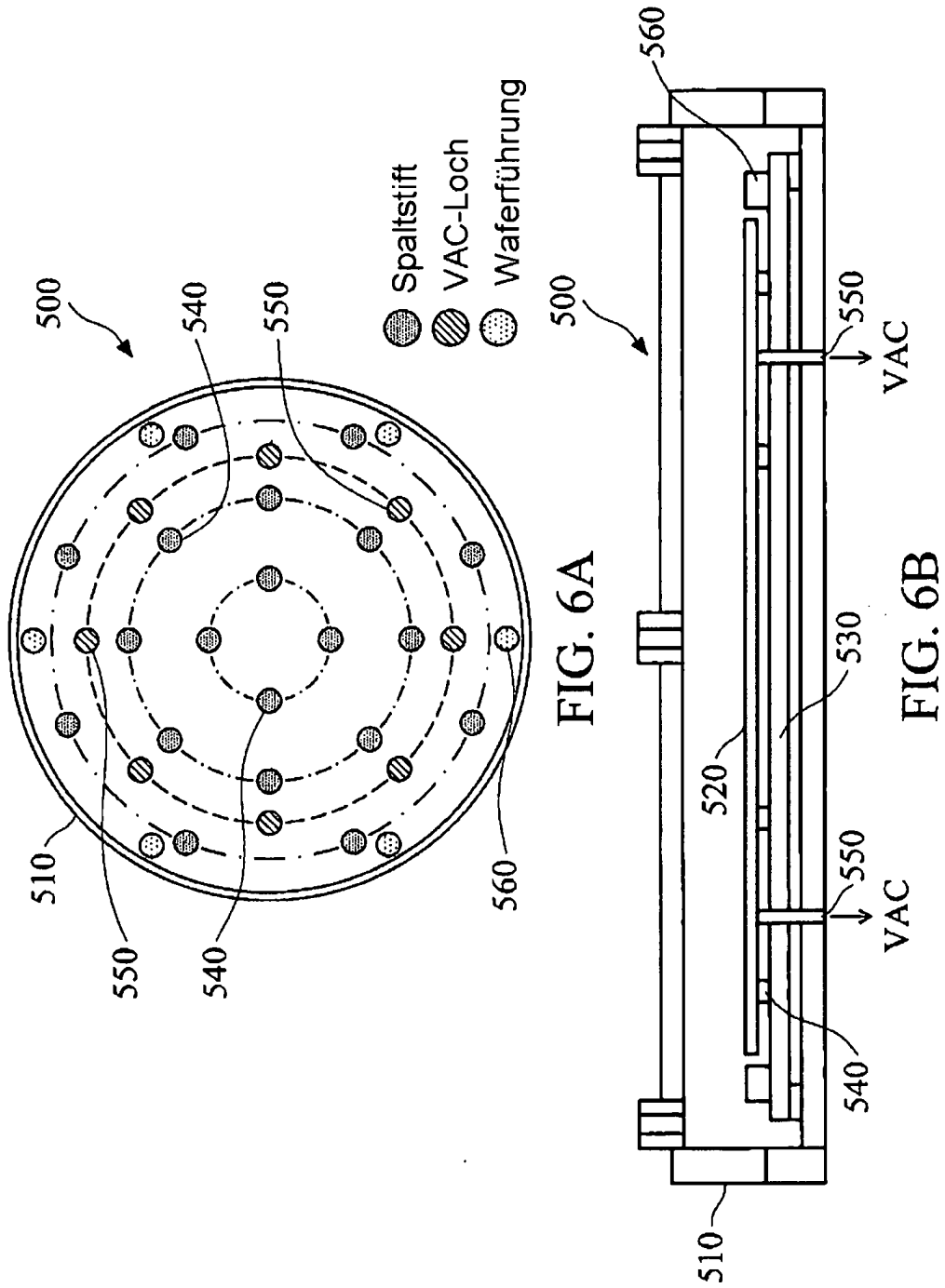


FIG. 5



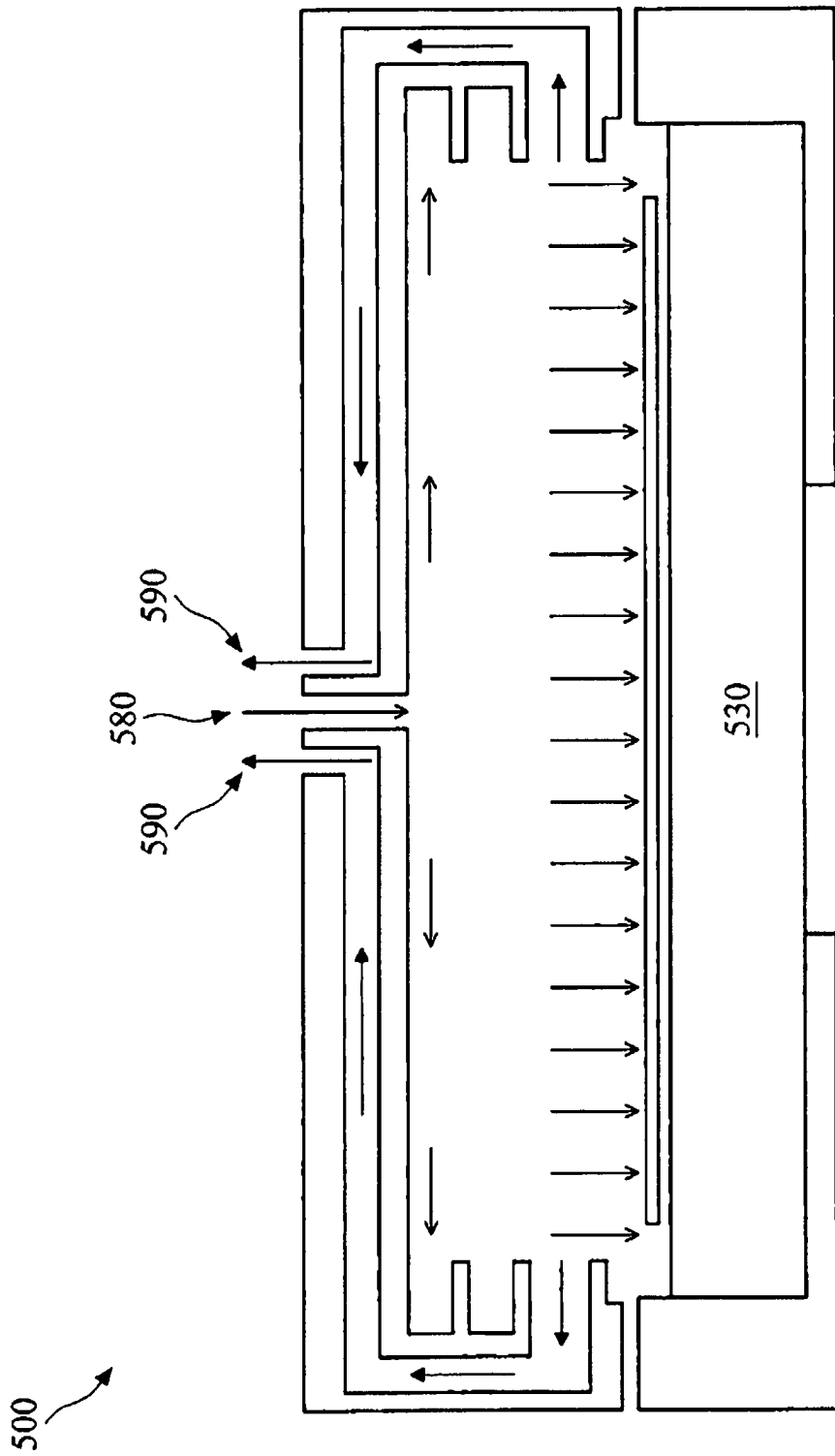
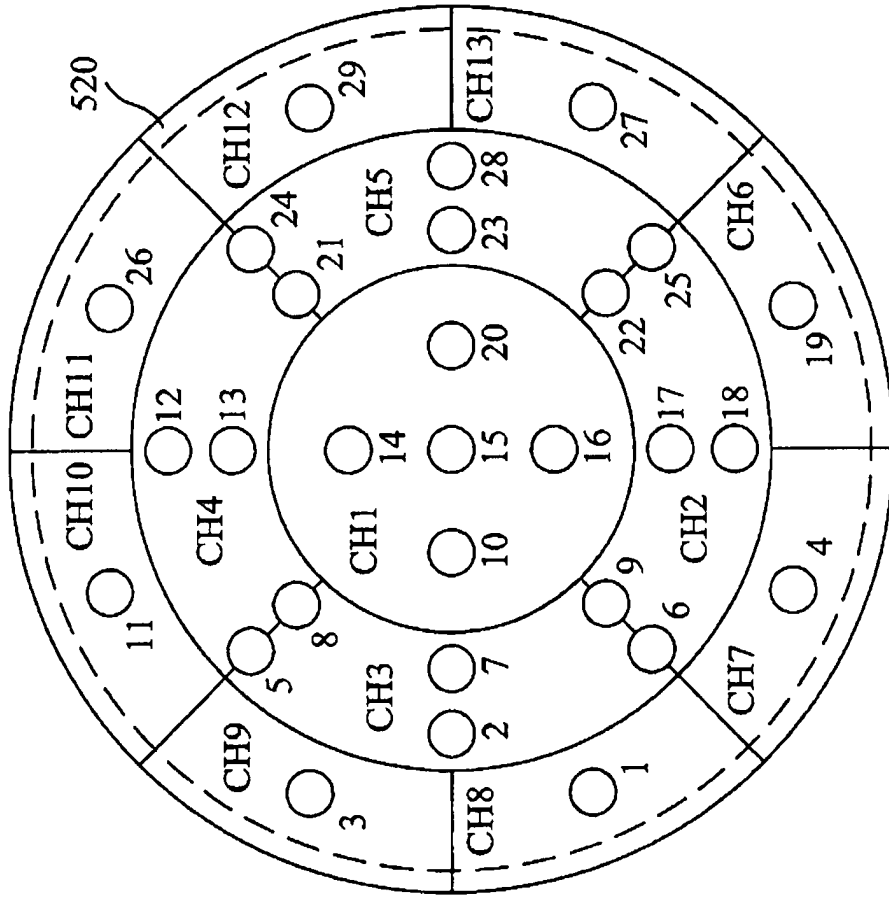


FIG. 7





500 ↗

FIG. 8

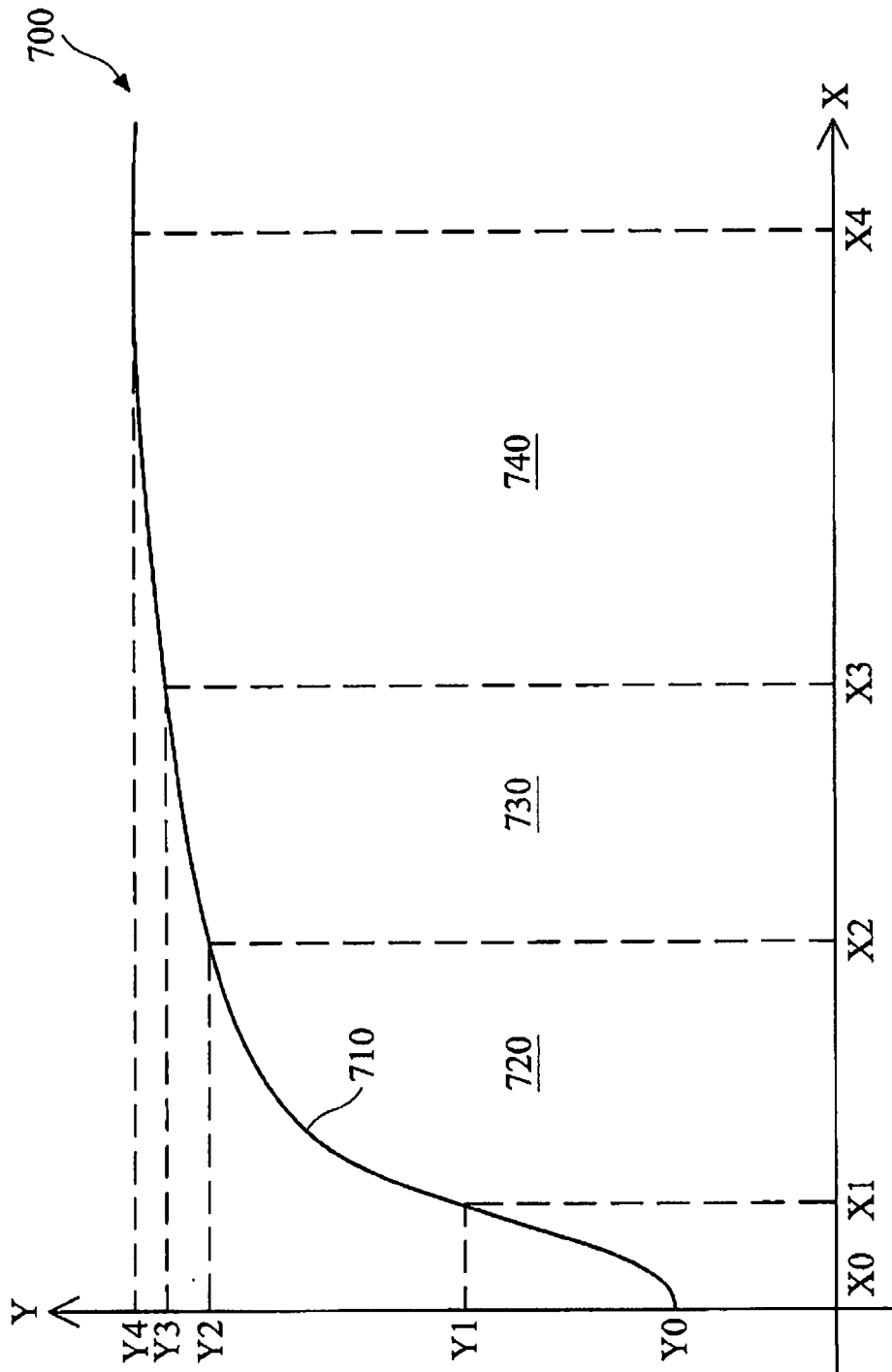


FIG. 9

Für Wärmeplatte 1


RTD-Wafer	Akku mulierte Temp.		RTD-Wafer	Akku mulierte Temp.	
	Anstieg	Statisch		Anstieg	Statisch
RTD1	5030.921	4224.444	RTD16	5031.554	4224.354
RTD2	5030.565	4224.828	RTD17	5034.491	4224.748
RTD3	5031.359	4224.416	RTD18	5032.999	4225.205
RTD4	5034.333	4224.476	RTD19	5032.028	4224.389
RTD5	5032.410	4225.284	RTD20	5033.640	4224.790
RTD6	5031.986	4225.047	RTD21	5029.909	4223.929
RTD7	5033.130	4224.456	RTD22	5032.418	4224.526
RTD8	5032.138	4224.078	RTD23	5034.752	4224.440
RTD9	5031.782	4223.684	RTD24	5029.092	4224.865
RTD10	5034.437	4224.363	RTD25	5032.125	4224.896
RTD11	5033.795	4224.517	RTD26	5032.790	4224.422
RTD12	5030.455	4224.609	RTD27	5032.085	4224.545
RTD13	5031.327	4224.157	RTD28	5032.077	5224.722
RTD14	5035.672	4225.554	RTD29	5032.604	4224.380
RTD15	5033.150	4224.455	3-sigma	4.539033666	
			Durchschnitt		4224.57169

FIG. 10A

FIG. 10A FIG. 10B

810



811 

Für Wärmeplatte 1

RTD-Wafer	Akkuulierte Temp.	
	Anstieg	Statisch
CH1	5033.69060	4224.70320
CH2	5032.63350	4224.68433
CH3	5032.00183	4224.56283
CH4	5030.88850	4224.48700
CH5	5031.72883	4391.22967
CH6	5032.02800	4224.38900
CH7	5033.13000	4224.45600
CH8	5030.92100	4224.44400
CH9	5031.35900	4224.41600
CH10	5033.79500	4224.51700
CH11	5032.79000	4224.42200
CH12	5032.60400	4224.38000
CH13	5032.08500	4224.54500
Bereich	2.90650	

FIG. 10B

Für Wärmeplatte 2


RTD-Wafer	Akku­mu­lierte Temp.		RTD-Wafer	Akku­mu­lierte Temp.	
	Anstieg	Statisch		Anstieg	Statisch
RTD1	5029.228	4224.757	RTD16	5030.517	4224.747
RTD2	5030.427	4225.315	RTD17	5033.485	4225.142
RTD3	5031.460	4224.782	RTD18	5032.715	4225.742
RTD4	5031.065	4224.697	RTD19	5031.768	4224.885
RTD5	5030.143	4225.458	RTD20	5032.372	4225.223
RTD6	5030.684	4225.518	RTD21	5030.235	4224.444
RTD7	5032.072	4225.037	RTD22	5029.293	4224.910
RTD8	5038.636	4224.356	RTD23	5032.971	4224.711
RTD9	5030.685	4224.120	RTD24	5029.410	4225.385
RTD10	5031.874	4224.693	RTD25	5029.142	4225.157
RTD11	5031.175	4224.909	RTD26	5031.094	4225.749
RTD12	5029.386	4225.009	RTD27	5031.581	4224.986
RTD13	5031.101	4224.719	RTD28	5031.027	5225.167
RTD14	5034.872	4226.159	RTD29	5030.933	4224.856
RTD15	5031.969	4224.947	3-sigma	4.244478716	
			Durchschnitt		4225.02

FIG. 11A

FIG. 11A/FIG. 11B

820



821 

Für Wärmeplatte 2

RTD-Wafer	Akkumulierte Temp.	
	Anstieg	Statisch
CH1	5032.32080	4225.15380
CH2	5031.00067	4225.09817
CH3	5030.44117	4224.96733
CH4	5029.81850	4224.89517
CH5	5030.34633	4224.96233
CH6	5031.76800	4224.88500
CH7	5032.07200	4225.03700
CH8	5029.22800	4224.75700
CH9	5031.46000	4224.78200
CH10	5031.17500	4224.90900
CH11	5031.09400	4225.74900
CH12	5030.93300	4224.85600
CH13	5031.58100	4224.98600
Bereich	3.09280	

FIG. 11B

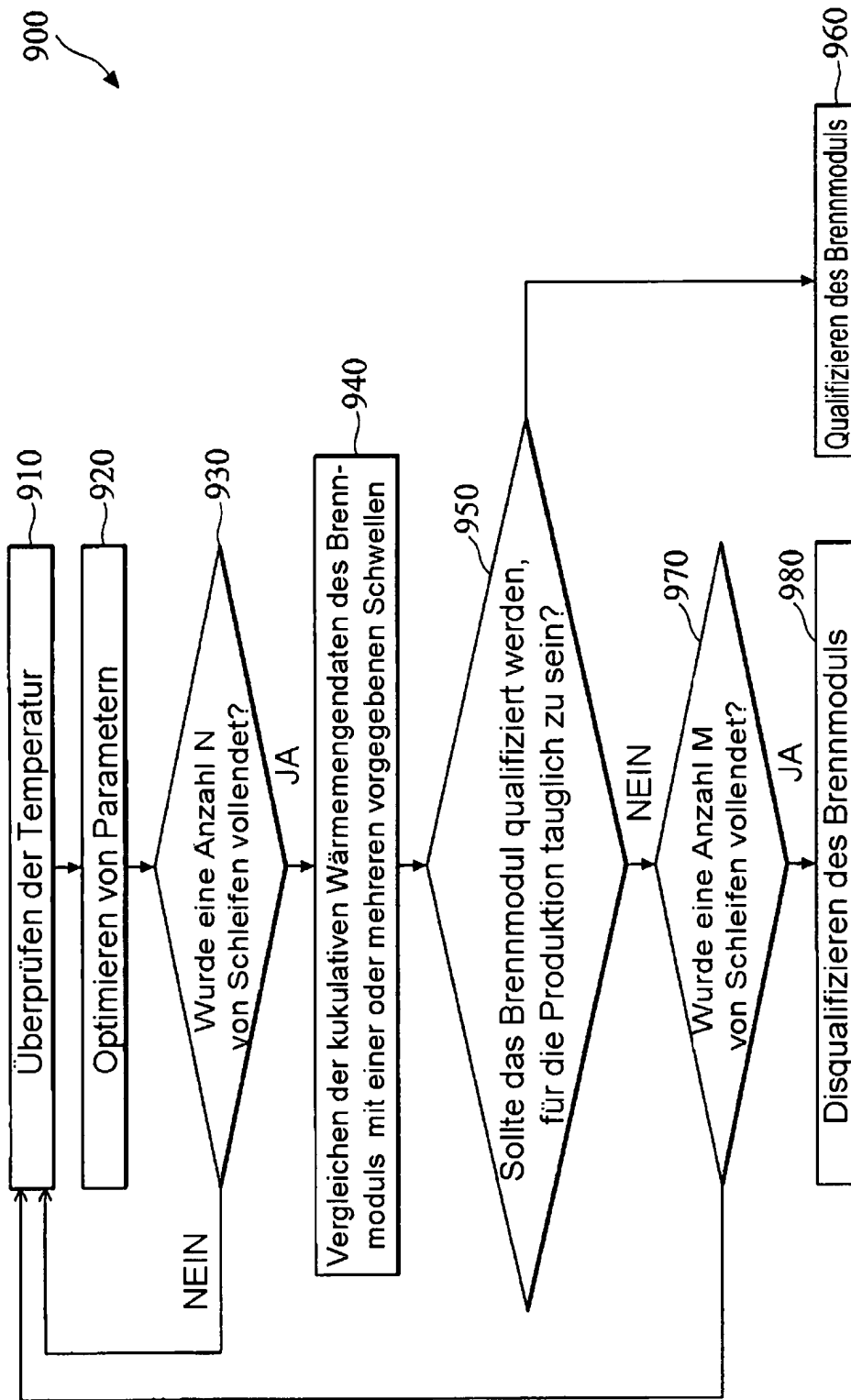


FIG. 12

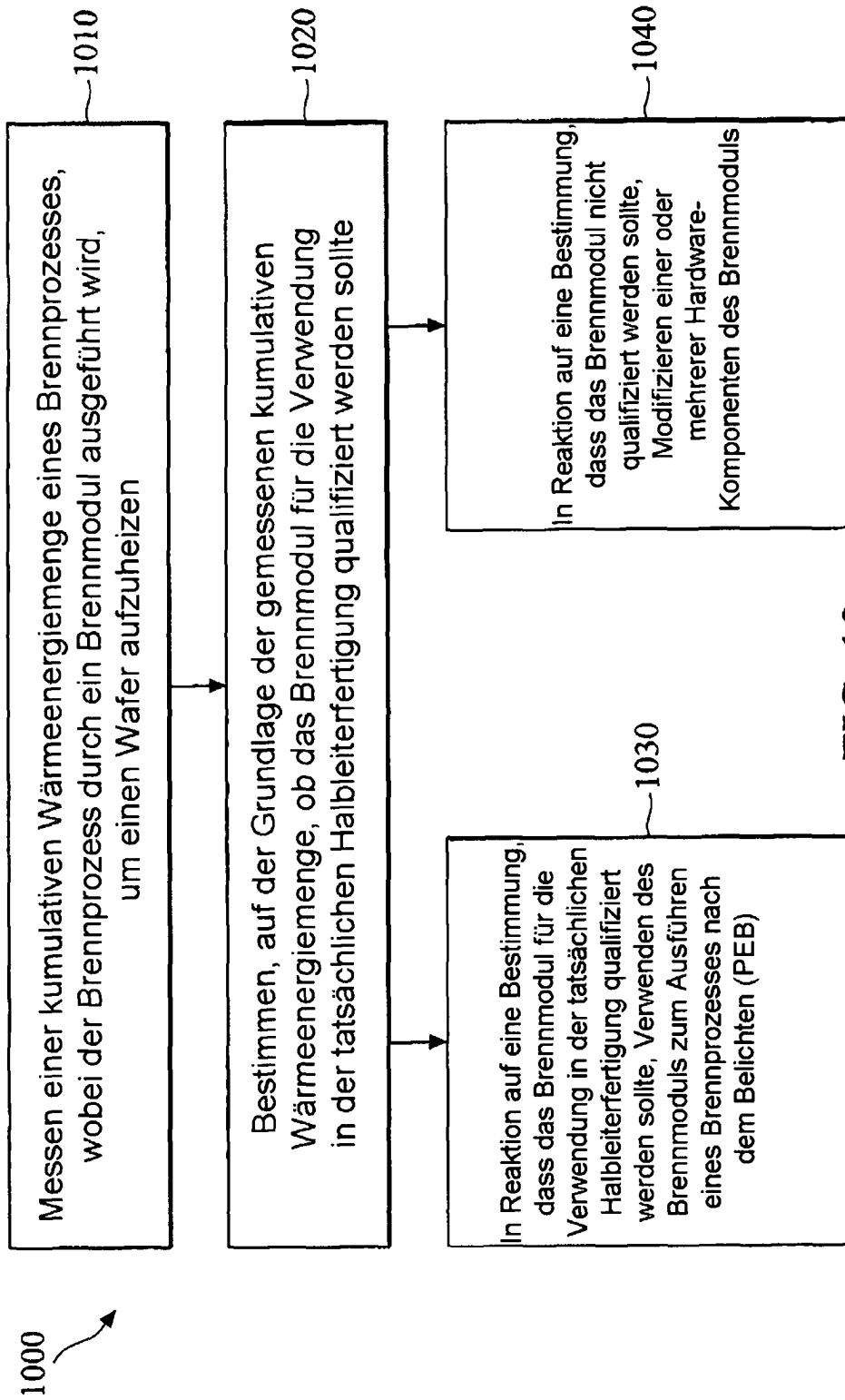


FIG. 13