(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 100 55 648 B4** 2014.10.23

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **100 55 648.5**
(22) Anmeldetag: **10.11.2000**
(43) Offenlegungstag: **16.08.2001**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **23.10.2014**

(51) Int Cl.: ***C30B 33/02*** (2006.01)
C30B 15/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

99 50467	**13.11.1999**	**KR**
00 57344	**29.09.2000**	**KR**

(62) Teilung in:
100 66 207.2

(73) Patentinhaber:
Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon-si, Gyeonggi-do, KR

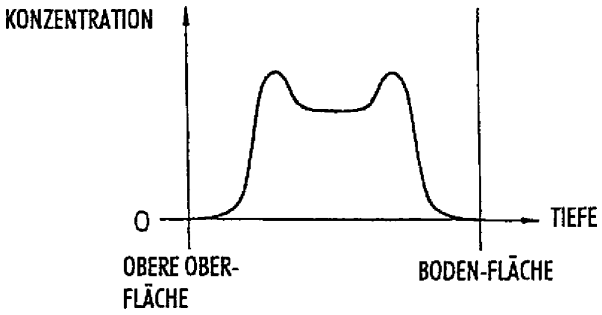
(74) Vertreter:
KUHNEN & WACKER Patent- und Rechtsanwaltsbüro, 85354 Freising, DE

(72) Erfinder:
Park, Jea-gun, Sunganm, Kyungki, KR

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers mit gesteuerter Störstellenverteilung und damit hergestellter Siliziumwafer**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers, mit den folgenden Schritten:
Durchführen eines schnellen thermischen Anlaßprozesses (RTA) bei einem Siliziumwafer mit einer oberen Oberfläche und einer Bodenfläche in einer Atmosphäre aus einer Gasmischung, die Stickstoffgas enthält, welches einen Leerstelleninjektionseffekt aufweist, und Argon und/oder Wasserstoff enthält, welches einen Zwischenraumsiliziuminjektionseffekt an der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Siliziumwafers aufweist, um Keimzentren zu erzeugen, die als Sauerstoffausfällungswachstumsstellen während der nachfolgenden Wärmebehandlung dienen, und zwar in einem Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil von der oberen Oberfläche zur Bodenfläche des Wafers hin, wobei das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil folgendes aufweist:
eine erste und eine zweite Spitze in einer ersten bzw. zweiten vorbestimmten Tiefe von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers aus;
eine denudierte Zone zwischen der oberen Oberfläche des Wafers und der ersten Spitze und zwischen der Bodenfläche des Wafers und der zweiten Spitze; und
eine konkave Zone zwischen der ersten und der zweiten Spitze, wobei das Ausfällungs-Konzentrationsprofil in der folgenden Weise ausgebildet wird:
a) Bereitstellen eines Siliziumwafers;
b) Erhitzen des Siliziumwafers bis zu einer ersten vorbestimmten Standby-Temperatur von etwa 700°C für eine Standby-Periode (I) innerhalb eines RTA Ofens;
c) dann schnelles Erhöhen der Temperatur des Siliziumwafers bis auf eine zweite Temperatur zwischen etwa 1150°C und 1250°C;
d) Aufrechterhalten der zweiten Temperatur für eine vorbestimmte Periode;
e) schnelles Absenken der Temperatur des RTA Ofens bis die erste Standby-Temperatur erreicht ist; und
f) nachfolgende Wärmebehandlung des Siliziumwafers bei einer Temperatur zwischen 800°C und 1000°C während einer Zeit von 4 bis 20 Stunden,
wobei die Sauerstoffausfällungskonzentrationen in der ersten und in der zweiten Spitze und in der konkaven Zone dadurch gesteuert werden, indem ein Mischverhältnis der Gasmischung eingestellt wird; und
wobei die Tiefen der denudierten Zonen ebenfalls durch Einstellen eines Mischverhältnisses der Gasmischung gesteuert werden.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	**5 401 669**	**A**
WO	**98/ 45 507**	**A1**
WO	**00/ 22 198**	**A1**
JP	**H11- 1 393**	**A**
JP	**H11- 292 684**	**A**
JP	**H11- 209 196**	**A**

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Mikroelektronik-Herstellungsverfahren und Wafer, die mit diesem Verfahren hergestellt wurden.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Monokristallines Silizium, welches das Ausgangsmaterial bei der Herstellung von Halbleitervorrichtungen bildet, wird mit Hilfe einer Kristallwachstumstechnik in Form eines zylinderförmigen Rohlings gezüchtet, welche Technik als Czochralski-(CZ)-Technik bezeichnet wird. Der Rohling aus dem monokristallinen Silizium wird über eine Reihe von Waferprozessen, wie beispielsweise Scheibenbildung, Ätzen, Reinigen, Polieren und ähnlichem in Wafer verarbeitet. Gemäß der CZ-Technik wird ein Impf-Kristall aus monokristallinem Silizium in geschmolzenes Silizium eingetaucht und nach oben gezogen und das geschmolzene Silizium wachst dann zu einem monokristallinen Rohling durch langsames Herausziehen. Das geschmolzene Silizium ist in einem Quarztiegel enthalten und ist mit einer Vielfalt an Fremdstoffen verunreinigt, von denen einer aus Sauerstoff besteht. Bei der Schmelztemperatur von Silizium durchdringt der Sauerstoff das Kristallgitter, bis er eine vorbestimmte Konzentration erreicht, die im allgemeinen durch die Lösbarkeit von Sauerstoff in Silizium bei der Schmelztemperatur von Silizium bestimmt ist und auch durch den tatsächlichen Segregationskoeffizienten von Sauerstoff in verfestigtem Silizium bestimmt wird. Die Konzentration von Sauerstoff, welcher den Siliziumrohling während des Kristallwachstums durchdringt, ist größer als die Löslichkeit von Sauerstoff in verfestigtem Silizium bei typischen Temperaturen, die bei der Herstellung von Halbleitervorrichtungen verwendet werden. Da der Kristall aus dem geschmolzenen Silizium wächst und abkühlt, nimmt die Löslichkeit von Sauerstoff darin rapide ab, wodurch in dem abgekühlten Rohling der Sauerstoff in gesättigter Form vorhanden ist.

[0003] Dieser Rohling wird in Wafer geschnitten. Der verbleibende zwischengelagerte Sauerstoff in jedem Wafer wächst während des nachfolgenden thermischen Prozesses zu Sauerstoff-Ausfällungen. Das Vorhandensein von Sauerstoff-Ausfällungen im aktiven Bereich des Gerätes verschlechtert die Oxid-Gate-Qualität und verursacht teilweise einen Substrat-Leckstrom. Wenn sie aber außerhalb des aktiven Bereichs oder Materials des Gerätes auftreten, können sie metallische Verunreinigungen, die von dem Herstellungsprozess des Gerätes herrühren, einfangen, was man als Gettern bezeichnet.

[0004] **Fig.** 1 ist eine Querschnittsansicht eines herkömmlichen Metalloxid-Halbleiter-(MOS)-Transistors. Wenn gemäß **Fig.** 1 die Sauerstoff-Ausfüllungen an der Waferoberfläche in einer Kanalzone vorhanden sind, die in einer aktiven Zone der Halbleitervorrichtung zwischen einer Sourcezone **12** und einer Drainzone **14** gelegen ist, die nahe der Oberfläche eines Siliziumsubstrats **10** ausgebildet sind, kann eine Gateisolierschicht **16**, um eine Gateelektrode **18** und das Siliziumsubstrat **10** elektrisch zu isolieren, durchbrechen. Darüber hinaus kann die Wiederauffrischcharakteristik einer Speichervorrichtung, die den MOSFET verwendet, verschlechtert werden.

[0005] Auch können Sauerstoffausfällungen, die in der Hauptzone **10a** des Wafers gebildet werden, die durch nachfolgende Wärmebehandlung erzeugt werden, als eine Leckagequelle wirken und können auch als inhärente Getterungsstellen wirken, welche die Fähigkeit haben, ungünstige Metallverunreinigung während der nachfolgenden Herstellung der Halbleitervorrichtung einzufangen. Wenn somit die Konzentration von Sauerstoff in dem Rohling hoch ist, können die Ausfällungen auf Grund der Konzentration des Sauerstoffs, die als innere Getterungsstellen wirken, zunehmen, so daß die Getterungsfähigkeit zunimmt. Wenn die Konzentration von Sauerstoff nicht ausreichend ist, können Sauerstoffausfällungen in der Hauptzone nicht erzeugt werden, so daß die Getterungsfähigkeit reduziert werden kann oder überhaupt nicht ausgebildet sein kann. Es kann somit wünschenswert sein, in richtiger Weise die Menge der Sauerstoffausfällungen zu steuern, die in der Hauptzone des Wafers verteilt auftreten.

[0006] In einem Wafer, der durch ein herkömmliches Kristallwachstum und einen Waferverarbeitungsprozeß erhalten wird, verteilen sich die Sauerstoffausfällungen durch den Wafer hindurch, und zwar von der oberen (Frontseiten-)Oberfläche zur Boden-(Rückseiten-)Oberfläche hin. Im allgemeinen sollte eine denudierte Zone (DZ) **10b** von der oberen Oberfläche zu einer vorbestimmten Tiefe hin vorgesehen werden, die frei ist von D-Defekten (Leerstellenagglomeraten), Fehllagen, Stapelfehlern und Sauerstoffaus-fällungen. Jedoch können Wafer, die durch die herkömmlichen Verfahren hergestellt werden, Sauerstoffausfällungen nahe der Oberfläche des Wafers erzeugen, die dann als eine Quelle für Leckstrom wirken.

[0007] Um daher innere Getterungsstellen in einer Hauptzone des Wafers mit einer ausreichenden DZ nahe der Oberfläche des Wafers hin auszubilden, kann ein Wafer, der eine hohe Sauerstoffkonzentration, beispielsweise auf einer anfänglichen Sauerstoffkonzentration von 13 Teilen pro Million Atomen (ppma) oder mehr aufweist, für eine lange Zeitdauer dadurch thermisch behandelt werden, indem die Temperatur zwischen niedrigen und hohen Werten geändert wird, derart, daß die Sauerstoffausfällungen in der Hauptzone des Wafers erzeugt werden, aber es ist schwierig eine ausreichende DZ zu erhalten, da die DZ in starkem Maße von dem Herausdiffundieren des eingelagerten Sauerstoffs abhängt.

[0008] Bei einem Halbleiterwafer, der durch diese herkömmliche Technik verarbeitet wurde, verläuft das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil durch den Wafer hindurch, von der oberen Oberfläche zur Bodenfläche des Wafers hin, so, wie dies in **Fig.** 2 veranschaulicht ist.

[0009] Insbesondere die herkömmlichen Techniken, bei denen der zusätzliche thermische Prozess bei hoher Temperatur für eine lange Zeitdauer durchgeführt wird, können die Eigenschaften des Gerätes verschlechtern. Beispielsweise kann in dem Wafer ein Ausweichen (slippage) oder Verwerfung auftreten. Darüber hinaus können die Herstellungskosten zunehmen. Auch können in solch einem Fall Metallverunreinigungen, insbesondere Eisen (Fe), die durch die Sauerstoffausfällungen in der Hauptzone eingefangen werden, in die DZ freigelassen werden, und zwar durch einen nachfolgenden Prozeß, so daß die freigelassenen Verunreinigungen als eine Leckquelle wirken können.

[0010] **Fig.** 3 zeigt ein Diagramm, welches ein nachgezeichnetes Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil eines Wafers veranschaulicht, der mit Hilfe eines anderen herkömmlichen Verfahrens hergestellt wurde, das in **Fig.** 1A des US-Patents Nr. 5,401,669 offenbart ist. Insbesondere zeigt **Fig.** 3 das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil eines Wafers in bezug auf die Tiefe des Wafers, was aus einem plötzlichen thermischen Temperungsprozeß an dem Wafer resultiert, der in einer Stickstoffatmosphäre ausgeführt wurde und wobei der Wafer einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterworfen wurde. Wie aus **Fig.** 3 ersehen werden kann, kann weder die DZ nahe der Oberfläche des Wafers noch können ausreichende Sauerstoffausfällungen in der Hauptzone durch dieses herkömmliche Verfahren erhalten werden.

[0011] Aus der WO 98/45507 A1 ist es bekannt, einen mit einem Oxid beschichteten Siliziumwafer in einem RTA-Prozess einer Gasmischung aus Stickstoff und Argon auszusetzen. Dabei wird die Nitridisierung des Siliziumwafers durch die Oxidschicht verhindert und das Leerstellenkonzentrationsprofil ist ähnlich einer Behandlung des Siliziumwafers ohne Oxidbeschichtung in einer Edelgasatmosphäre. Alternativ wird beschrieben, einen unbeschichteten Siliziumwafer in einer reinen Stickstoffatmosphäre in einem RTA-Prozess zu behandeln. Dies führt zu einem U-förmigen Leerstellenkonzentrationsprofil, was als nachteilig beschrieben wird. Bei einer weiteren alternativen Ausführungsform wird das RTA-Verfahren mit einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre an einem unbeschichteten Siliziumwafer durchgeführt. Die Oxidierung während des RTA-Verfahrens verhindert wie eine vor dem RTA-Verfahren aufgebrachte Oxidbeschichtung eine Nitridisierung des Siliziumwafers. Somit hat eine vor dem RTA-Verfahren aufgebrachte Oxidbeschichtung und eine Oxidierung eines unbeschichteten Siliziumwafers während des RTA-Verfahrens einen gleichen Effekt auf das resultierende Leerstellenkonzentrationsprofil.

[0012] Aus der Druckschrift WO 2000/022198 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung eines einkristallinen Siliziumwafers bekannt, bei dem der Siliziumwafer bei einer Temperatur von mehr als 1000°C einer Atmosphäre von Wasserstoff oder Argon oder Sauerstoff oder Stickstoff oder einer Mischung davon ausgesetzt wird, sodass die angehäuften Leerstellendefekte innerhalb einer Oberflächenschicht verringert oder aufgelöst werden.

[0013] Aus der Druckschrift JP H11-1393 A ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von Siliziumwafern bekannt. Insbesondere ist es aus dieser Druckschrift bekannt, eine Czochralski-Kristallziehanlage zu verwenden, die ein Hitzeschild aus Kohlenstoff-Ferrit besitzt.

[0014] Aus der Druckschrift JP H11-292684 A ist es bekannt, bei einer Czochralski-Kristallziehanlage, Hitzeschilde mit einem wärmeisolierenden Material auszußüllen. Das dabei eingesetzte Material besitzt wärmeabsorbierende Eigenschaften. Darüber hinaus ist es aus dieser Druckschrift bekannt, einen Kühlmantel zwischen Hitzeschild und Kristallhalter zu installieren.

[0015] Aus der Druckschrift JP H11-209196 A ist eine Czochralski-Kristallziehanlage mit einem hohlen, ringförmigen Hitzeschildgehäuse bekannt, das einen dreieckigen Querschnitt aufweist.

Zusammenfassung der Erfindung

[0016] Gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird ein Siliziumwafer geschaffen, der eine gesteuerte vertikale Verteilung von Sauerstoffausfällungen besitzt, die als innere Getterungsstellen wirken können. Insbesondere umfaßt das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil von der oberen Oberfläche, in welcher eine aktive Zone einer Halbleitervorrichtung ausgebildet sein kann, zur Bodenfläche des Siliziumwafers, erste und zweite Spitzen an jeweils einer erste und zweiten vorbestimmten Tiefe von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers aus. Auch ist eine denudierte Zone (DZ) zwischen der oberen Oberfläche des Wafers und der ersten Spitze und zwischen der Bodenfläche des Wafers und der zweiten Spitze enthalten. Das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil besitzt auch eine konkave Zone zwischen der ersten und der zweiten Spitze, die einer Hauptzone (bulk region) des Wafers entsprechen kann.

[0017] Bei den Ausführungsformen der Erfindung ist das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil in Bezug auf eine zentrale Fläche des Siliziumwafers symmetrisch, die zentral zwischen der oberen Oberfläche und der Bodenfläche gelegen ist. Somit sind beispielsweise die erste und die zweite vorbestimmte Tiefe gleich. Jedoch braucht bei anderen Ausführungsformen das Profil nicht symmetrisch zu sein, derart, daß beispielsweise unterschiedliche Tiefen für die erste und für die zweite Spitze vorhanden sein können. Auch liegt bei einigen Ausführungsformen der Erfindung die Tiefe der denudierten Zonen in dem Bereich von etwa 10 µm bis etwa 40 µm von jeder Oberfläche des Siliziumwafers aus, derart, daß die aktive Zone der Halbleitervorrichtung in einer ausreichenden Tiefe ausgebildet wird. Bei anderen Ausführungsformen existieren in den DZs keine kristallinen Störstellen in bezug auf Sauerstoff, während die D-Störstellen in der Form von Leerstellen eine vorbestimmte Größe haben, als auch Sauerstoffausfällungen ferner in der Hauptzone des Wafers in einer vorbestimmten Konzentration vorhanden sein können.

[0018] Bei anderen Ausführungsformen der Erfindung liegen die Sauerstoffausfällungskonzentrationen an der ersten und der zweiten Spitze bei wenigstens etwa 1×10^9 cm^{-3} und die Sauerstoffausfällungskonzentration in der Hauptzone zwischen der ersten und der zweiten Spitze beträgt wenigstens etwa 1×10^8 cm^{-3}.

[0019] Gemäß den Ausführungsformen des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung wird eine plötzliche thermische Wärmebehandlung (Rapid Thermal Annealing = RTA) in Verbindung mit einem Siliziumwafer in einer Atmosphäre aus einem Gasgemisch durchgeführt, welches ein Gas enthält, das eine Leerstelleninjektionswirkung besitzt, und ein Gas enthält, welches eine zwischenräumliche Siliziuminjektionswirkung an der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Siliziumwafers hat, um Keimbildungszentren zu erzeugen, die als Sauerstoffausfällungs-Wachstumsstellen während der nachfolgenden Wärmebehandlung wirken, derart, daß das Keimzentrumskonzentrationsprofil von der oberen Oberfläche zu der Bodenfläche des Wafers hin eine erste und eine zweite Spitze in einer ersten und einer zweiten vorbestimmten Tiefe von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers jeweils aufweist. Auch bleibt die Keimzentrumskonzentration auf einer vorbestimmten Konzentration, die niedriger ist als eine kritische Konzentration, zur Bildung des DZ-Bereichs zwischen der oberen Oberfläche des Wafers und der ersten Spitze und zwischen der Bodenfläche des Wafers und der zweiten Spitze. Schließlich besitzt das Keimzentrumsprofil eine konkave Zone zwischen der erste und der zweiten Spitze, die einer Hauptzone des Wafers entspricht. Es können symmetrische oder asymmetrische Profile vorgesehen werden.

[0020] Bei den Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Wärmebehandlung nach dem RTA-Prozeß durchgeführt, um ein Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil von der oberen Oberfläche zur Bodenfläche des Wafers hin zu erzeugen, welches eine erste und eine zweite Spitze in einer ersten und einer zweiten vorbestimmten Tiefe von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers jeweils aufweist, eine DZ zwischen der oberen Oberfläche des Wafers und der ersten Spitze und zwischen der Bodenfläche des Wafers und der zweiten Spitze, und eine konkave Zone zwischen der ersten und der zweiten Spitze aufweist. Es können symmetrische oder asymmetrische Profile vorgesehen werden.

[0021] Gemäß der Erfindung umfaßt die Gasmischung Stickstoffgas (N_2) und Argongas (Ar) oder Stickstoffgas (N_2) und Wasserstoffgas (H_2). Auch können bei Ausführungsformen der Erfindung die Sauerstoffausfällungskonzentrationen in der ersten und der zweiten Spitze und in der Hauptzone und/oder die Tiefen der denudierten Zonen dadurch gesteuert werden, indem wenigstens eine der Größen, wie das Mischverhältnis, die Strömungsrate des Gasgemisches, die Rampenanstiegsrate, die Temperungstemperatur, die Temperungszeit und die Rampenabfallrate des RTA-Prozesses eingestellt werden.

[0022] Bei Ausführungsformen der Erfindung kann ein Siliziumwafer, der einem RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unterworfen wird, aus einem Rohling hergestellt werden, der aus

geschmolzenem Silizium in einem Heißzonenofen gezogen wird, und zwar gemäß einem Rohlingziehratenprofil, bei dem die Ziehrate des Rohlings ausreichend hoch ist, so daß die Ausbildung von Zwischenraumagglomeraten verhindert wird, die jedoch ausreichend niedrig ist, so daß die Ausbildung von Leerstellenagglomeraten innerhalb einer leerstellenreichen Zone um die Zentrumsachse des Rohlings herum begrenzt wird.

[0023] Bei anderen Ausführungsformen der Erfindung kann ein Siliziumwafer, der einem RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unterworfen wird, aus einem Rohling hergestellt werden, der aus geschmolzenem Silizium in einem Heißzonenofen gezogen wird, und zwar gemäß einem Rohlingsziehratenprofil, bei dem die Ziehrate des Rohlings ausreichend hoch ist, so daß die Ausbildung von Zwischenraumagglomeraten verhindert wird, die jedoch ausreichend niedrig ist, so daß die Ausbildung von Zwischenraumagglomeraten verhindert wird und die Ausbildung von Leerstellenagglomeraten verhindert wird.

[0024] Bei noch anderen Ausführungsformen der Erfindung kann ein Siliziumwafer, der einem RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unterworfen wird, aus einem Rohling hergestellt werden, der aus einem geschmolzenen Silizium in einem Heißzonenofen gemäß einem Rohlingziehratenprofil gezogen wird, wobei die Ziehrate des Rohlings ausreichend hoch ist, so daß Leerstellenagglomerate durch den Durchmesser des Rohlings hindurch ausgebildet werden, ohne daß dabei Zwischenraumagglomerate gebildet werden.

[0025] Demzufolge wird gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein Wafer einem RTA-Prozeß in einer Atmosphäre aus einem Gasgemisch ausgesetzt, welches ein Gas enthält, welches einem Zwischenrauminjektionseffekt liefert, und ein Gas enthält, welches einen Leerstelleninjektionseffekt in Verbindung mit dem Wafer liefert, was zu einem Profil der Sauerstoffausfällungskeimzentren führt, welches zwei Spitzen in vorbestimmten Tiefen von jeder der Oberflächen des Wafers aus aufweist.

[0026] Auch werden Ausführungsformen der RTA-Prozesse gemäß der vorliegenden Erfindung in einer Gasatmosphäre durchgeführt, die einen Zwischenrauminjektionseffekt an der Waferoberfläche liefert, so dass, obwohl Leerstellen, wie beispielsweise D-Störstellen, in dem Wafer existieren können, die D-Störstellen innerhalb der Tiefen der DZs aufgelöst werden, um dadurch eine reine aktive Zone in einer Halbleitervorrichtung zu ermöglichen.

[0027] Zusätzlich können nicht zur beanspruchten Erfindung gehörende Ausführungsformen der Czochralski-Ziehapparate schnell den gezogenen Rohling abkühlen, sodass die Größe der Leerstellen, die während des Wachstums des Rohlings ausgebildet werden können, kleiner gemacht werden kann. Solche kleinen Leerstellen, die in den DZs vorhanden sind, können über den RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung aufgelöst werden, während Leerstellen in dem Hauptkörper bzw. der Hauptzone des Wafers zurückbleiben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0028] **Fig.** 1 ist eine Schnittansicht, welche eine Struktur eines herkömmlichen Metalloxidhalbleitertransistors (MOS) darstellt, der nahe der Oberfläche eines Siliziumwafers ausgebildet ist;

[0029] **Fig.** 2 ist ein Diagramm, welches ein Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil eines herkömmlichen Wafers veranschaulicht;

[0030] **Fig.** 3 ist ein Diagramm, welches ein Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil gemäß eines anderen herkömmlichen Wafers veranschaulicht;

[0031] **Fig.** 4 zeigt ein Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil eines Siliziumwafers gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

[0032] **Fig.** 5 ist ein Zeitplan für einen schnellen thermischen Anlaßprozeß (RTA = Rapid Thermal Annealing), und zwar gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

[0033] **Fig.** 6 zeigt ein Punktdefekt- oder Störstellenkonzentrationsprofil in Bezug auf die Tiefe eines Wafers, nachdem ein RTA-Prozeß, der in **Fig.** 5 veranschaulicht ist, in einer Stickstoffgas-(N_2)-Atmosphäre ausgeführt worden ist (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0034] Fig. 7 zeigt ein Punktdefektkonzentrationsprofil in bezug auf die Tiefe eines Wafers, nachdem ein RTA-Prozeß, der in **Fig.** 5 veranschaulicht ist, in einer Argongas-(Ar)-Atmosphäre ausgeführt worden ist (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0035] Fig. 8 zeigt ein Punktdefektkonzentrationsprofil in bezug auf die Tiefe eines Wafers, nachdem ein RTA-Prozeß, der in **Fig.** 5 veranschaulicht ist, in einer Wasserstoffgas-(H_2)-Atmosphäre ausgeführt worden ist (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0036] Fig. 9 zeigt ein Leerstellenkonzentrationsprofil, nachdem ein RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in bezug auf eine Variation des Mischverhältnisses einer Gasmischung ausgeführt worden ist, die N_2-Gas und Ar-Gas enthält;

[0037] Fig. 10 zeigt ein Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil, welches durch nachfolgende Wärmebehandlung erhalten wird, nachdem ein RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in bezug auf die Gasarten ausgeführt worden ist, die während des RTA-Prozesses verwendet werden;

[0038] Fig. 11 ist ein Diagramm, welches die Auflösung von Ausfällungen kristallinen Ursprungs (COPs) nahe der Oberfläche des Siliziumwafers veranschaulicht, wenn der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der Ar-Atmosphäre durchgeführt wird (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0039] Fig. 12 ist eine Photographie, welche die Sauerstoffausfällverteilung eines Wafers zeigt, der einer nachfolgenden Wärmebehandlung nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gasatmosphäre unterworfen worden ist (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0040] Fig. 13 zeigt eine Photographie, welche die Sauerstoffausfällungsverteilung eines Wafers zeigt, der einer nachfolgenden Wärmebehandlung nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der Ar-Gasatmosphäre unterworfen worden ist (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0041] Fig. 14 zeigt eine Photographie, welche die Sauerstoffausfällungsverteilung eines Wafers zeigt, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der H_2-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterzogen wurde (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0042] Fig. 15 ist eine Photographie, welche die Sauerstoffausfällungsverteilung eines Wafers zeigt, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2- und Ar-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterworfen wurde;

[0043] Fig. 16 zeigt eine Photographie, welche die Sauerstoffausfällungsverteilung eines Wafers zeigt, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gas- und H_2-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterzogen wurde;

[0044] Fig. 17 ist eine Photographie, welche die Tiefe der DZ zeigt, die nahe der Oberfläche eines Wafers ausgebildet ist, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterworfen wurde (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0045] Fig. 18 ist eine Photographie, welche die Tiefe der DZ zeigt, die nahe der Oberfläche des Wafers ausgebildet ist, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der Ar-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterworfen wurde (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0046] Fig. 19 ist eine Photographie, welche die Tiefe der DZ zeigt, die nahe der Oberfläche eines Wafers ausgebildet ist, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der H_2-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterworfen wurde (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0047] Fig. 20 zeigt eine Photographie, welche die Tiefe der DZ zeigt, die nahe der Oberfläche eines Wafers ausgebildet ist, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gas- und Ar-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterworfen wurde;

[0048] Fig. 21 ist eine Photographie, welche die Tiefe der DZ zeigt, die nahe der Oberfläche eines Wafers ausgebildet ist, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gas- und H_2-Gasatmosphäre einer nachfolgenden Wärmebehandlung unterzogen wurde;

[0049] **Fig.** 22A ist eine Photographie, welche die Gestalt eines COP in einem Gleich-Wachstumszustand zeigt, und **Fig.** 22B zeigt die Gestalt des COP, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gasatmosphäre geändert wurde (nicht gemäß der beanspruchten Erfindung);

[0050] **Fig.** 23A ist eine Photographie, welche die Gestalt eines COP in einem Gleich-Wachstumszustand zeigt, und **Fig.** 23B zeigt die Gestalt des COP, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gas- und Ar-Gasatmosphäre geändert wurde;

[0051] **Fig.** 24A zeigt eine Photographie, welche die Gestalt eines COP in einem Gleich-Wachstumszustand zeigt, und **Fig.** 24B zeigt die Gestalt des COP, der nach einem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der N_2-Gas- und H_2-Gasatmosphäre geändert wurde;

[0052] **Fig.** 25 ist ein Flußdiagramm, welches die Herstellung der Wafer gemäß den Ausführungsformen der Erfindung veranschaulicht;

[0053] **Fig.** 26 ist ein konzeptmäßiges Diagramm, welches eine Beziehung zwischen einer relativen Punktdefekt-Verteilung in einem Siliziumrohling und dem V/G-Verhältnis (die Ziehrate des Rohlings/der Temperaturgradienten) veranschaulicht;

[0054] **Fig.** 27 ist eine schematische Ansicht, die einen herkömmlichen Czochralski-(CZ)-Ziehapparat zeigt;

[0055] **Fig.** 28 ist eine schematische Ansicht eines anderen herkömmlichen CZ-Ziehapparates gemäß den US-Anmeldungen mit den Seriennummern 09/989,591 und 09/320,210;

[0056] **Fig.** 29 ist eine schematische Ansicht, die CZ-Ziehapparate veranschaulicht;

[0057] **Fig.** 30 ist ein Diagramm, welches die Hauptteile der CZ-Ziehapparate von

[0058] **Fig.** 29 veranschaulicht;

[0059] **Fig.** 31 ist ein Graph, der Variationen der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in Bezug auf eine Variation der Strömungsrate der N_2- und Ar-Gasmischung zeigt;

[0060] **Fig.** 32 ist ein Graph, der die Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in Bezug auf eine Variation des Mischverhältnisses der N_2 und Ar-Gasmischung zeigt;

[0061] **Fig.** 33 ist ein Graph, der eine Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in bezug auf eine Variation der Rampenanstiegsrate zeigt;

[0062] **Fig.** 34 zeigt einen Graphen, der eine Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in Bezug auf eine Variation der Temperungszeit zeigt;

[0063] **Fig.** 35 ist ein Graph, der eine Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in Bezug auf eine Variation der Temperungstemperatur zeigt;

[0064] **Fig.** 36 zeigt einen Graphen, der eine Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in Bezug auf die Variation einer Rampenabfallrate zeigt.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0065] Die vorliegende Erfindung wird nun vollständig im folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gezeigt sind. Es sei darauf hingewiesen, dass sich dabei die **Fig.** 6–**Fig.** 8, **Fig.** 11–**Fig.** 14, **Fig.** 17–**Fig.** 19 und **Fig.** 22A auf Ausführungsformen beziehen, die nicht gemäß der beanspruchten Erfindung ausgestaltet sind. Die Erfindung kann jedoch in sehr verschiedenen Formen realisiert werden und sie ist nicht auf die hier dargestellten Ausführungsformen beschränkt; vielmehr werden diese Ausführungsformen dargestellt, so daß die Offenbarung sorgfältig und vollständig wird und für einen Fachmann auf dem vorliegenden Gebiet gut verständlich wird. In den Zeichnungen ist die Dicke der Schichten und der Zonen der Übersichtlichkeit halber übertrieben dargestellt. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen durchgehend gleiche Elemente. Es sei darauf hingewiesen, daß

dann, wenn ein Element, wie beispielsweise eine Schicht, eine Zone oder Substrat als ”darauf” bezeichnet wird, ein anderes Element an dem anderen Element direkt vorhanden sein kann oder dazwischen liegende Elemente ebenfalls vorhanden sein können. Wenn im Gegensatz dazu ein Element als ”direkt auf” einem anderen Element bezeichnet wird, gibt es keine dazwischen liegenden Elemente. Darüber hinaus umfaßt jede Ausführungsform, die hier beschrieben und veranschaulicht ist, auch eine vom Leitfähigkeitstyp her komplementäre Ausführungsform in gleicher Weise.

[0066] **Fig.** 4 zeigt schematisch ein Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil eines Siliziumwafers gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Wenn man dieses Profil mit den Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofilen von Siliziumwafern vergleicht, die gemäß herkömmlichen Techniken hergestellt wurden, wie sie in den **Fig.** 2 und **Fig.** 3 gezeigt sind, so existieren denudierte Zonen (DZs), in einem vorbestimmten Tiefenbereich von sowohl der oberen Oberfläche als auch der Bodenfläche des Wafers aus und die Sauerstoffausfällungskonzentration bildet Doppelspitzen an den Grenzen zwischen jeder DZ und einer Hauptzone (bulk region). Auch in der Hauptzone zwischen den Doppelspitzen ist eine große Menge von Sauerstoffausfällungen vorhanden, die ausreichend sind, um einen Getterungseffekt in bezug auf Metallverunreinigungen zu erzeugen.

[0067] **Fig.** 5 zeigt einen Zeitplan eines schnellen thermischen Anlaß-(RTA)-Prozesses gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Ein im Handel verfügbarer RTA-Ofen kann verwendet werden. In dem RTA-Prozeß wird zunächst ein Siliziumwafer gemäß der vorliegenden Erfindung in den RTA-Ofen geladen, dessen Temperatur auf beispielsweise etwa 700°C eingestellt ist, und zwar für eine Standby-Periode (I). Dann wird die Temperatur in dem RTA-Ofen schnell erhöht, beispielsweise mit einer Rate von etwa 50°C/sec auf eine Temperatur von etwa 1250°C (II). Dann wird die Temperatur auf 1250°C für eine vorbestimmte Zeitdauer gehalten, beispielsweise etwa 10 Sekunden (III) und die Temperatur in dem RTA-Ofen wird dann mit einer Rate von etwa 33°C/sec reduziert bis hin zu der Temperatur der Standby-Periode (IV). Schließlich wird der Wafer aus dem RTA-Ofen entladen (V). Mit Hilfe der Ausführungsformen des RTA-Prozesses, der in **Fig.** 5 veranschaulicht ist, kann die Verteilung der Sauerstoffausfällungskeimzentren gesteuert werden und es können Leerstellen (voids) oder Ausfällungen mit kristallinem Ursprung (COPs), die nahe der Oberfläche des Wafers vorhanden sind, aufgelöst werden, was an späterer Stelle unter Hinweis auf **Fig.** 11 beschrieben wird.

[0068] Der Verarbeitungstemperaturbereich von **Fig.** 5 ist lediglich als Veranschaulichung gedacht. Jedoch können bei dem RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die Arten der Umgebungsgase, die Strömungsraten der umgebenden Gase, das Mischverhältnis der umgebenden Gase, die rampenförmige Anstiegsrate, die Anlaßtemperatur, die Anlaßzeit und/oder die rampenförmige Abwärtsrate (das heißt Kühlrate) alle dazu beitragen, ein Profil gemäß **Fig.** 4 zu erzielen, wie dies weiter unten beschrieben wird. Der RTA-Prozeß wird bei wenigstens etwa 1150°C für wenigstens etwa 5 Sekunden ausgeführt. Beispielsweise wird der RTA-Prozeß bei 1150°C für wenigstens 30 Sekunden durchgeführt oder bei 1250°C für wenigstens 5 bis 10 Sekunden durchgeführt. Der Wafer wird dann schnell mit einer Rate von wenigstens 30°C/sec abgekühlt.

[0069] Eine Gasmischung, die ein Gas enthält, welches einen Leerstelleninjektionseffekt auf die Oberfläche des Wafers hat und ein Gas enthält, welches einen Zwischenraum-Siliziuminjektionseffekt hat, wird als ein Gas für den RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung verwendet. Bei den Ausführungsformen wird Stickstoffgas (N_2) als das Gas verwendet, welches den Leerstelleninjektionseffekt hat, und es wird Argongas (Ar) und/oder Wasserstoffgas (H_2) als das Gas verwendet, welches den Zwischenraumsiliziuminjektionseffekt hat.

[0070] Die **Fig.** 6 bis **Fig.** 8 veranschaulichen die Punktdefektkonzentrationsprofile der Leerstellenstörstellen und der Zwischenraumsiliziumstörstellen in bezug auf die Tiefe des Wafers, nachdem der RTA-Prozeß, der in **Fig.** 5 veranschaulicht ist, in einer N_2-, Ar- bzw. H_2-Atmosphäre ausgeführt wurde. In den **Fig.** 6 bis **Fig.** 8 repräsentiert die Kurve (a) das Leerstellenpunktdefektkonzentrationsprofil nach dem RTA-Prozeß in einer Inertgasatmosphäre und die Kurven (b) und (c) repräsentieren die Leerstellen- bzw. Zwischenraumpunktdefektkonzentrationsprofile nach dem RTA-Prozeß in der entsprechenden Gasatmosphäre.

[0071] Wie in den Ausführungsformen der **Fig.** 6 bis **Fig.** 8 gezeigt ist, war die Leerstellenpunktdefektkonzentration (die durch (a) angezeigte konvexe Kurve) nach dem RTA-Prozeß in der Inertgasatmosphäre an der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers niedrig und war in der Hauptzone des Wafers hoch. Wenn die Temperatur des RTA-Ofens schnell auf die Temperatur an der Stelle (a) von **Fig.** 5 in der Inertgasatmosphäre erhöht wurde, nahm die Gleichgewichtskonzentration der Leerstellen, die als Punktdefektstellen in dem Wafer existieren, zu. Da die Mobilität der Leerstellen in der Hauptzone des Wafers niedrig ist, bleibt die Leerstellenkonzentration niedriger als die Gleichgewichtskonzentration in der Hauptzone (bulk region). Jedoch ist

die Bewegung der Leerstellen nahe der Oberfläche des Wafers aktiv, so daß die Konzentration der Leerstellen nahe der Oberfläche des Wafers sehr schnell die Gleichgewichtskonzentration erreicht. Wenn andererseits die Temperatur des RTA-Ofens scharf ansteigt, wird die Gleichgewichtskonzentration des Zwischenraumsiliziums abgesenkt, beispielsweise durch die Frenkel-Rekombination zwischen Leerstellen und Zwischenraumsilizium mit einer Erhöhung in der Leerstellenkonzentration. Da auch die Mobilität der Zwischenräume, die in der Hauptzone des Wafers vorhanden sind, niedrig ist, ähnlich wie bei den Leerstellen darin, bleibt die Zwischenraumkonzentration in der Hauptzone höher als die Gleichgewichtskonzentration. Jedoch erreicht die Zwischenraumkonzentration nahe der Oberfläche des Wafers die Gleichgewichtskonzentration, wie dies auch die Leerstellenkonzentration nahe der Oberfläche des Wafers tut.

[0072] Wenn der Wafer auf der hohen Temperatur für eine Zeitperiode bis hin zu der Stelle (b) von **Fig.** 5 gehalten wird, erfolgt eine Diffusion in solcher Weise, daß sowohl die Leerstellen als auch die Zwischenräume (interstitials) die Gleichgewichtskonzentrationen erreichen. Nachdem der Wafer schnell auf die Temperatur des Punkts (c) von **Fig.** 5 abgekühlt worden ist, erreichen die Zwischenraumpunktstörstellen, die einen hohen Diffusionskoeffizienten besitzen, eine neue Gleichgewichtskonzentration bei der reduzierten Temperatur. Jedoch werden die Leerstellenpunktstörstellen, die einen kleinen Diffusionskoeffizienten haben, in dem Wafer übergesättigt. Insbesondere ist der Grad der Übersättigung der Leerstellen in der Hauptzone des Wafers hoch. Da jedoch die Mobilität der Leerstellen nahe der Oberfläche des Wafers hoch ist, erreicht die Konzentration der Leerstellenpunktdefekte oder -störstellen unmittelbar eine neue Gleichgewichtskonzentration bei der abgesenkten Temperatur.

[0073] Daher kann das Leerstellenkonzentrationsprofil nach dem RTA-Prozeß in der inerten Atmosphäre eine konvexe Gestalt haben, wie dies in den **Fig.** 6 bis **Fig.** 8 gezeigt ist.

[0074] Wie auch in **Fig.** 6 dargestellt ist, verbindet sich in dem Fall, bei dem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in einer N_2-Gasatmosphäre durchgeführt wird, das N_2-Gas, welches in die Hauptzone des Wafers eindringt, mit dem Leerstellensilizium, um Siliziumnitrid (Si_3N_4) mit kleiner Größe zu erzeugen, so daß die Leerstellenkonzentration in der Hauptzone abgesenkt wird. Mittlerweile nimmt die Leerstellenkonzentration nahe der Oberfläche des Wafers zu, und zwar auf Grund des Leerstelleninjektionseffektes durch das N_2-Gas. Als ein Ergebnis besitzt das Leerstellenkonzentrationsprofil in der N_2-Atmosphäre die entgegengesetzte Gestalt (Kurve, die durch "b" angezeigt ist), und zwar gegenüber derjenigen des Wafers, der in der Inertgasatmosphäre hergestellt wird.

[0075] Wenn zusätzlich der RTA-Prozeß von **Fig.** 1 in der Ar- und HZ-Gasatmosphäre durchgeführt wird, wie dies jeweils in den **Fig.** 7 und **Fig.** 8 gezeigt ist, wird die Leerstellenkonzentration durch den Wafer hinweg abgesenkt, und zwar auf Grund des Zwischenraumsiliziuminjektionseffektes. Da insbesondere eine Rekombination des Leerstellensiliziums und des Zwischenraumsiliziums nahe der Oberfläche des Wafers sehr schnell erfolgt, auf Grund des Zwischenraumsiliziuminjektionseffektes der verwendeten Gase, kann die Leerstellenkonzentration auf einer kritischen Konzentration gehalten werden, die bei einer bestimmten Temperatur die Gleichgewichtskonzentration ist.

[0076] Bei den Ausführungsformen der Erfindung wird der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in einer Mischgasatmosphäre durchgeführt, beispielsweise N_2- und Ar-Gase oder N_2- und H_2-Gase und somit können die Leerstellenkonzentrationsprofile in den Mischgasatmosphären durch Kombinieren von denjenigen von den **Fig.** 6 und **Fig.** 7 und denjenigen von den **Fig.** 6 und **Fig.** 8 erhalten werden. Wie in **Fig.** 9 gezeigt ist, zeigen die Leerstellenkonzentrationsprofile der Wafer, die in den Mischgasatmosphären hergestellt wurden, erste und zweite Spitzen in einer vorbestimmten Tiefe von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Siliziumwafers aus. Es kann auch festgestellt werden, daß die Leerstellenkonzentration von den oberen Oberflächen aus zu den ersten und den zweiten Spitzen niedriger ist als die Gleichgewichtskonzentration bei einer bestimmten Temperatur. Auch besitzen die Leerstellenkonzentrationsprofile in der Hauptzone (bulk region) zwischen der ersten und der zweiten Spitze eine konkave Gestalt.

[0077] Das Leerstellenkonzentrationsprofil von **Fig.** 9 kann gemäß den Ausführungsformen der Erfindung erhalten werden, da der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der Mischgasatmosphäre durchgeführt wird, die Gase enthält, welche für Leerstellen- und Zwischenraum-Siliziuminjektionseffekte sorgen. Beim Durchführen eines Vergleichs unter Verwendung eines logarithmischen Maßstabs zwischen dem Leerstellensiliziumkonzentrationsprofil, welches aus dem Leerstellensiliziuminjektionseffekt in der N_2-Gasatmosphäre erhalten wird, mit den Zwischenraumsiliziumkonzentrationsprofilen, die aus dem Zwischenraumsiliziuminjektionseffekt in der Ar- oder H_2-Gasatmosphäre gehalten wird, ergibt sich, daß das Leerstellensiliziumkonzentrationsprofil weniger steil verläuft als das Zwischenraumsiliziumkonzentrationsprofil in der Zone von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers zu einer vorbestimmten Tiefe hin. Jedoch wird das Leerstellensiliziumkonzentrations-

profil steiler als das Zwischenraumsiliziumkonzentrationsprofil von der vorbestimmten Tiefe aus zu der Hauptzone hin. Somit wird in der denudierten Zone nahe der oberen Oberfläche und der Bodenfläche der Wafer die Leerstellensiliziumkonzentration bei oder unterhalb eines kritischen Wertes gehalten, das heißt kleiner als oder gleich dem Gleichgewichtskonzentrationswert bei einer vorbestimmten Temperatur, vermittels der Rekombination mit den Zwischenraumsiliziumatomen. Jenseits der denudierten Zone steigt die Leerstellensiliziumkonzentration scharf an, so daß sie gleich wird oder größer wird als der Gleichgewichtskonzentrationswert. Dann, bei einer Tiefe des Wafers, wo die Differenz zwischen den Leerstellen- und Zwischenraum-Siliziumkonzentrationswerten einen maximalen Wert erreicht, das heißt dort, wo das Leerstellensiliziumkonzentrationsprofil steiler wird als die Zwischenraumsiliziumkonzentration, werden Spitzen (erste und zweite Spitzen) ausgebildet. Die Leerstellensiliziumkonzentration nimmt jenseits der Spitzen zur Hauptzone hin ab, so daß ein konkaves Leerstellenkonzentrationsprofil zwischen der ersten und der zweiten Spitze erhalten wird.

[0078] Gemäß anderen Ausführungsformen der Erfindung erzeugen Leerstellen-punktdefekte oder -störstellen des Wafers Sauerstoffausfällungen vermittels der thermischen Prozeßzyklen bei der nachfolgenden Herstellung der Halbleitervorrichtung. Mit anderen Worten werden die Leerstellenpunktdefekte zu Keimzentren für die Sauerstoffausfällungen, die durch nachfolgende thermische Prozeßzyklen gebildet werden. Je höher die Leerstellenkonzentration ist, je höher wird die Sauerstoffausfällungskonzentration. Somit kann das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil von dem Leerstellenkonzentrationsprofil des Wafers abgeleitet werden.

[0079] Die Leerstellenkonzentration und die Sauerstoffausfällungskonzentration haben die folgende Beziehung:

Si (Siliziumsubstrat) + xO_i + yV_{Si}
↔ SiO_2 (Sauerstoffausfällung) + Si_I (Zwischenraumsilizium) + σ

[0080] Dieser Beziehungsausdruck sagt aus, daß dann, wenn die Leerstellen-Siliziumkonzentration (V_{Si}) und die anfängliche Sauerstoffkonzentration (O_i) zunehmen, die Reaktion nach rechts voranschreitet, so daß die Sauerstoffausfällungskonzentration zunimmt. Bei dem oben angegebenen Beziehungsausdruck ist σ eine Konstante.

[0081] Bei den Ausführungsformen der Erfindung wurde das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil nach der nachfolgenden Wärmebehandlung an dem Wafer erhalten, der dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 unterworfen worden ist. Die Bedingungen für die nachfolgende Wärmebehandlung wurden unter Berücksichtigung der Bedingungen der thermischen Prozeßzyklen bei der Herstellung der Halbleitervorrichtung bestimmt, während welchen die Sauerstoffausfällungen gebildet werden. Für einen Vergleich zwischen den Wafern, nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5, wurden die nachfolgenden Prozesse bei etwa 800°C für etwa 4 Stunden und bei ca. 1600°C für ca. 16 Stunden in einer N_2-Gasatmosphäre durchgeführt.

[0082] Um auch den Effekt der Gasmischung, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, mit einzubauen, wurde eine Strömungsrate und das Mischverhältnis der Gasmischung, die während des RTA-Prozesses von **Fig.** 5 verwendet wurde, variiert. **Fig.** 9 zeigt das Leerstellenkonzentrationsprofil nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in Bezug auf eine Variation des Mischverhältnisses der Gasmischung, die N_2-Gas und Ar-Gas enthielt. **Fig.** 31 ist ein Graph, der die Variation in der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen in bezug auf eine Variation der Strömungsrate der Ar-/N_2-Gasmischung zeigt.

[0083] In **Fig.** 9 repräsentiert (a) das Leerstellenkonzentrationsprofil, wenn das Mischverhältnis von N_2 und Ar bei 70:30 liegt, (b) ist eine Wiedergabe, wenn das Mischverhältnis von N_2 und Ar bei 50:50 liegt, und (c) zeigt, wenn das Mischverhältnis von N_2 und Ar bei 30:70 liegt. Es sei darauf hingewiesen, daß mit der Zunahme der N_2-Konzentration sich die Spitzen zu den Oberflächen des Wafers hin verschieben und das die Leerstellenkonzentration der Spitzen zunimmt. Das heißt, es nehmen die Tiefen der DZs dort, wo die Sauerstoffausfällungen auf Grund der nachfolgenden Prozesse nicht gebildet werden, scharf mit der Zunahme der N_2-Konzentration ab.

[0084] Es wurde die Sauerstoffausfällungskonzentration von **Fig.** 31 an den Spitzen gemessen, und zwar nach einer weiteren thermischen Behandlung bei etwa 800°C für etwa 4 Stunden, und dann bei etwa 1600°C für ca. 16 Stunden in einer N_2-Atmosphäre, nachdem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 vervollständigt worden ist. Hier wurde der RTA-Prozeß dadurch ausgeführt, indem eine Ar-/N_2-Gasmischung in einer rampenförmigen Anstiegsrate von ca. 50°C/sec strömen gelassen wurde, eine Temperungstemperatur bei ca. 1250°C lag, eine Temperungszeit bei ca. 10 Sekunden lag und die rampenförmige Abfallrate bei ca. 33°C/sec lag. Die Strömungsraten der Ar/N_2-Gase in der Ar/N_2-Mischung wurde so variiert, daß sie 1/1, 2/2, 3/3, 4/4 und 5/5 Liter/

Minute betrug. Das Ergebnis von **Fig.** 31 zeigt, daß die Sauerstoffausfällungskonzentration mit der Zunahme der Strömungsrate der Gasmischung zunimmt.

[0085] Es wurde die Sauerstoffausfällungskonzentration von **Fig.** 32 bei den Spitzen gemessen, nachdem der RTA-Prozeß mit den gleichen Bedingungen wie bei den Daten von **Fig.** 31 durchgeführt wurde, mit der Ausnahme, daß die Ar/N_2-Gase in der Gasmischung in einer Strömungsrate von 3/1, 2,5/1,5, 2/2, 1,5/2,5, 1/3 Liter/Minute mit vielfältigen Mischverhältnissen zugeführt wurden. Nachdem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 durchgeführt worden war, wurde eine weitere thermische Behandlung bei 800°C für vier Stunden durchgeführt und dann bei 1600°C für 16 Stunden, und zwar in einer N_2-Atmosphäre. Das Ergebnis von **Fig.** 32 zeigt, daß bei einer konstanten Massenströmung der Gasmischung bei 4 Liter/Minute die Sauerstoffausfällungskonzentration mit der Zunahme in dem Verhältnis von N_2 in der Gasmischung zunimmt.

[0086] Die Verarbeitungsbedingungen des RTA-Prozesses, umfassend das Mischverhältnis und die Strömungsrate der Gasmischung, der rampenförmigen Anstiegsrate, der Anlaßtemperatur und der Anlaßzeit, der rampenförmigen Abfallrate und ähnlichem, können auf verschiedene Werte geändert werden, indem die Positionen der Spitzen bei dem Leerstellenkonzentrationsprofil variiert werden, der Leerstellenkonzentrationswert bei den Spitzen variiert wird, der Leerstellenkonzentrationswert an der Hauptzone variiert wird und die Größe der denudierten Zone und/oder ähnlichem variiert wird.

[0087] **Fig.** 33 zeigt die Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen, nachdem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 durchgeführt wurde, in Bezug auf eine Variation der Rampenanstiegsrate. Für einen Vergleich wurden die anderen Verarbeitungsbedingungen des RTA-Prozesses konstant gehalten, das heißt es wurde das Mischverhältnis der N_2- und Ar-Gase auf 50:50 eingestellt, die Anlaßtemperatur wurde auf 1250°C eingestellt, die Anlaßzeit wurde auf 10 Sekunden eingestellt und die Rampenabfallrate wurde auf 33°C/sec eingestellt. Die nachfolgende thermische Behandlung wurde bei allen Wafern bei 800°C für 4 Stunden und dann bei 1600°C für 16 Stunden in einer N_2-Atmosphäre durchgeführt, was dasselbe war wie bei den früheren Messungen. Das Ergebnis ist in der Tabelle 1 gezeigt.

TABELLE 1

Rampenanstiegsrate [°C/sec]	Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen [ea/cm^3]
10	$2{,}0 \times 10^{10}$
30	$2{,}5 \times 10^{10}$
50	$2{,}1 \times 10^{10}$
70	$2{,}0 \times 10^{10}$
90	$2{,}0 \times 10^{10}$

[0088] **Fig.** 33 und die Tabelle 1 zeigen auf, daß die Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nicht stark durch die Rampenanstiegsrate beeinflußt wird.

[0089] **Fig.** 34 zeigt die Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen, nachdem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 durchgeführt wurde, und zwar in bezug auf eine Variation der Anlaßzeit. Für einen exakten Vergleich wurden die anderen Verarbeitungsbedingungen des RTA-Prozesses konstant gehalten, das heißt es wurde das Mischverhältnis der N_2- und Ar-Gase auf 50:50 eingestellt, die Rampenanstiegsrate wurde auf 50°C/sec eingestellt, die Anlaßtemperatur wurde auf 1250°C eingestellt und die Rampenabfallrate wurde auf 33°C/sec eingestellt. Die nachfolgende thermische Behandlung wurde bei allen Wafern bei 800°C für 4 Stunden und dann bei 1600°C für 16 Stunden in einer N_2-Atmosphäre durchgeführt, was das gleiche war wie bei den früheren Messungen. Das Ergebnis ist in der Tabelle 2 gezeigt.

TABELLE 2

Anlaßzeit [s]	Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen [ea/cm^3]
1	$1{,}0 \times 10^{8}$
5	$5{,}0 \times 10^{9}$

10	$2{,}0 \times 10^{10}$
30	$2{,}5 \times 10^{10}$
60	$3{,}0 \times 10^{10}$

[0090] Fig. 34 und die Tabelle 2 zeigen auf, daß die Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen durch die Anlaßzeit beeinflußt wird, und daß der Anlaßvorgang für wenigstens 5 Sekunden oder mehr fortgesetzt werden sollte, und zwar für die Sauerstoffausfällungskonzentration von wenigstens $10^9/cm^3$ oder mehr an den Spitzen.

[0091] Fig. 35 zeigt die Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen, nachdem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 durchgeführt worden ist, in Bezug auf eine Variation der Anlaßtemperatur. Für einen Vergleich wurden die anderen Verarbeitungsbedingungen des RTA-Prozesses konstant gehalten, das heißt es wurde das Mischverhältnis der N_2- und Ar-Gase auf 50:50 eingestellt, die Rampenanstiegsrate wurde auf 50°C/sec eingestellt, die Anlaßzeit wurde auf 10 Sekunden eingestellt und die Rampenabfallrate wurde auf 33°C/sec eingestellt. Die nachfolgende thermische Behandlung wurde für alle Wafer bei 800°C für 4 Stunden und dann bei 1600°C für 16 Stunden in einer N_2-Atmosphäre durchgeführt, was das gleiche war wie bei den früheren Messungen. Das Ergebnis ist in der Tabelle 3 gezeigt.

TABELLE 3

Anlaßtemperatur [°C]	Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen [ea/cm^3]
1250	$2{,}0 \times 10^{10}$
1200	$5{,}0 \times 10^{8}$
1150	$1{,}0 \times 10^{8}$
1100	$7{,}0 \times 10^{7}$
1000	$7{,}0 \times 10^{7}$

[0092] Fig. 35 und die Tabelle 3 zeigen auf, daß die Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen durch die Anlaßtemperatur beeinflußt wird, und daß die Anlaßtemperatur hoch sein sollte (bei wenigstens etwa 1250°C oder mehr), und zwar für eine Sauerstoffausfällungskonzentration von wenigstens $109/cm^3$ oder mehr an den Spitzen. Die Anlaßtemperatur und die Anlaßzeit sind eng der Sauerstoffausfällungskonzentration zugeordnet. Betrachtet man das Ergebnis von **Fig.** 34, kann angeführt werden, daß für eine bestimmte Konzentration der Sauerstoffausfällung die Anlaßzeit auf eine hohe Anlaßtemperatur reduziert werden kann, während die Anlaßzeit bei einer niedrigeren Anlaßtemperatur verlängert werden kann, um eine bestimmte Konzentration zu erzielen.

[0093] Fig. 36 zeigt die Variation der Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen, nachdem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 durchgeführt wurde, in bezug auf eine Variation der Rampenabfallrate. Zum Vergleich wurden die anderen Verarbeitungsbedingungen des RTA-Prozesses konstant gehalten, das heißt das Mischverhältnis der N_2- und Ar-Gase wurde auf 50:50 eingestellt, die Rampenanstiegsrate wurde auf 50°C/sec eingestellt, die Anlaßtemperatur wurde auf 1250°C eingestellt und die Anlaßzeit wurde auf 10 Sekunden eingestellt. Eine nachfolgende thermische Behandlung wurde für alle Wafer bei 800°C für 4 Stunden und dann bei 1600°C für 16 Stunden in einer N_2-Atmosphäre durchgeführt, was das gleiche war wie bei den früheren Messungen. Das Ergebnis ist in der Tabelle 4 gezeigt.

TABELLE 4

Rampenanstiegsrate [°C/sec]	Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen [ea/cm^3]
10	$8{,}0 \times 10^{9}$
30	$2{,}0 \times 10^{10}$

50	$2{,}2 \times 10^{10}$
70	$3{,}0 \times 10^{10}$
90	$3{,}5 \times 10^{10}$

[0094] **Fig.** 36 und die Tabelle 4 zeigen auf, daß die Sauerstoffausfällungskonzentration bei den Spitzen nicht stark durch die Rampenabfallrate beeinflußt wird. Jedoch nimmt die Sauerstoffausfällungskonzentration geringfügig mit Zunahme der Rampenanstiegsrate zu.

[0095] **Fig.** 10 zeigt die Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofile, die vermittels der nachfolgenden Wärmebehandlung erhalten wurden, und zwar nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5 und in Bezug auf die Arten des Gases, welches während des RTA-Prozesses verwendet wurde. In **Fig.** 10 gibt (a) das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil eines Wafers wieder, der in einer N_2-Gasatmosphäre hergestellt wurde, (b) zeigt das Profit eines Wafers, der in einer N_2-Gas- und Ar-Gasatmosphäre hergestellt wurde, (c) zeigt dasjenige eines Wafers, der in einer N_2-Gas- und H_2-Gasatmosphäre hergestellt wurde, (d) zeigt dasjenige eines Wafers an, der in einer Ar-Gasatmosphäre hergestellt wurde, und (e) zeigt dasjenige eines Wafers an, der in einer H_2-Gasatmosphäre hergestellt wurde.

[0096] Zum Vergleich wurde der RTA-Prozeß und die nachfolgende Wärmebehandlung bei all den Wafern unter den gleichen Verarbeitungsbedingungen durchgeführt. Das heißt der RTA-Prozeß wurde bei 1250°C für 10 Sekunden durchgeführt und die nachfolgende Wärmebehandlung wurde zweimal durchgeführt, wie dies oben beschrieben wurde, und zwar bei 800°C für 4 Stunden und bei 1600°C für 16 Stunden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5 gezeigt.

TABELLE 5

verwendetes Gas	Spitzen-Sauerstoff-ausfällungskonzentration [cm^3]	Sauerstoff-ausfällungskonzentration in der Hauptzone [cm^3]	Tiefen der DZs [µm]	COP-Auflösungsfähigkeit
Ar	8×10^9	8×10^9	50	medium
H_2	6×10^9	6×10^9	60	hoch
N_2	3×10^9	$\approx 1 \times 10^5$ (Detektionsgrenze)	0	keine
N_2 + Ar	2×10^{10}	5×10^9	10	medium
N_2 + H_2	1×10^{10}	5×10^9	15	hoch

[0097] **Fig.** 11 ist ein Diagramm, welches die Auflösung der COPs nahe der Oberfläche des Siliziumwafers veranschaulicht, wenn der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 in der Ar-Atmosphäre durchgeführt wird. Im allgemeinen besitzen die COPs, die während des Rohlingswachstums durch die CZ-Technik gebildet werden, eine gebrochene achtflächige Leerraumgestalt und es wird eine Siliziumoxidschicht **22** an der Innenseite einer Leerstelle oder eines Leerraumes **20a** ausgebildet. Auch wenn der RTA-Prozeß in einer Ar- oder H_2-Gasatmosphäre durchgeführt wird, wobei die Gase den Zwischenraumsiliziuminjektionseffekt an der Oberfläche des Wafers liefern, werden die COPs, die nahe der Oberfläche des Wafers vorhanden sind, aufgelöst.

[0098] Um den Auflösungsmechanismus der COPs im Detail zu beschreiben, so wird in dem Rohling, in welchem Sauerstoff in der Anfangskonzentration O_i während des Kristallwachstums enthalten ist, wenn dieser abgekühlt wird, die Sauerstoffkonzentration in dem Rohling bei der Abkühltemperatur übersättigt. Somit wird die Anfangssauerstoffkonzentration des Wafers, der aus dem Rohling gebildet wird, ebenfalls über die vorbestimmte Lösbarkeit von Sauerstoff hinaus übersättigt (angezeigt durch ”S” in **Fig.** 11). Jedoch ist die anfängliche Sauerstoffkonzentration nahe der Oberfläche des Wafers gleich oder geringer als die vorbestimmte Löslichkeit ”S”, und zwar auf Grund der Ausdiffusion von Sauerstoff durch die Oberfläche des Wafers hindurch. Mittlerweile wird in der Hauptzone des Wafers der übersättigte Sauerstoff in die Leerstelle **20a** geliefert und wird dazu verwendet, um die Siliziumoxidschicht **22** an der Innenseite der Leerstelle **20a** zu bilden. Da auch die Anfangssauerstoffkonzentration nahe der Oberfläche des Wafers (das heißt eine Zone zwischen der Oberfläche und der strichlierten Linie ”T” von **Fig.** 11) niedriger ist als die vorbestimmte Löslichkeit ”S” von Sauerstoff, wird Sauerstoff aus der Siliziumoxidschicht (nicht gezeigt), die sich in der Leerstelle **20b** gebildet hat, ausge-

löst und es wird gleichzeitig Silizium an der Innenseite der Leerstelle **20b** erzeugt, und zwar auf Grund des Zwischenraumsiliziuminjektionseffektes des Gases, welches während des RTA-Prozesses vorgesehen wird. Als ein Ergebnis nimmt die Größe der Leerstelle **20b** ab und die Leerstelle **22b** verschwindet schließlich.

[0099] Auf Grund der COP-Auflösungswirkung kann der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 auf viele Arten von Wafern ausgedehnt werden. Wie in der Tabelle 5 gezeigt ist, kann die COP-Auflösungswirkung unter Verwendung des H_2-Gases besser gemacht werden oder erhöht werden als bei Verwendung des Ar-Gases.

[0100] Die **Fig.** 12 bis **Fig.** 16 sind Photographien, welche die Sauerstoffausfällungsverteilungen der Wafer zeigen, die einer nachfolgenden Wärmebehandlung nach dem RTA-Prozeß unterzogen wurden und die Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofile der **Fig.** 10 besitzen. Insbesondere entspricht **Fig.** 12 dem Fall gemäß der Verwendung des N_2-Gases, **Fig.** 13 entspricht dem Fall gemäß der Verwendung des Ar-Gases, **Fig.** 14 entspricht dem Fall gemäß der Verwendung des H_2-Gases, **Fig.** 15 entspricht dem Fall gemäß der Verwendung der N_2- und Ar-Gase und **Fig.** 16 entspricht dem Fall gemäß der Verwendung der N_2- und H_2-Gase. Auch zeigt die linke Seite von jeder Figur die obere Oberfläche des Wafers und die rechte Seite derselben zeigt die Bodenfläche des Wafers.

[0101] Die **Fig.** 17 bis **Fig.** 21 sind Photographien, welche die Tiefe der DZ zeigen, die nahe der Oberfläche der Wafer gebildet wird, wo keine Sauerstoffausfällungen existieren, die einer nachfolgenden Wärmebehandlung nach dem RTA-Prozeß unterzogen wurden und die Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofile von **Fig.** 10 besitzen. Insbesondere gibt **Fig.** 17 den Fall wieder gemäß der Verwendung des N_2-Gases, **Fig.** 18 gibt den Fall wieder gemäß der Verwendung des Ar-Gases, **Fig.** 19 gibt den Fall wieder gemäß der Verwendung des H_2-Gases, **Fig.** 20 gibt den Fall wieder gemäß der Verwendung der N_2- und Ar-Gase und **Fig.** 20 gibt den Fall wieder gemäß der Verwendung der N_2- und H_2-Gase. Wie aus der Tabelle 5 entnommen werden kann, wird die DZ in der N_2-Atmosphäre spärlich ausgebildet.

[0102] Die **Fig.** 22A bis **Fig.** 24B zeigen Photographien, welche die Gestalten von gleichartig gewachsenen COPs zeigen und diejenigen der COPs zeigen, die geändert worden sind, und zwar nach dem RTA-Prozeß von **Fig.** 5. Insbesondere geben die **Fig.** 22A und **Fig.** 22B die Fälle wieder, bei denen der RTA-Prozeß in der N_2-Atmosphäre durchgeführt wurde, die **Fig.** 23A und **Fig.** 23B geben die Falle wieder, bei denen RTA-Prozeß in der N_2- und Ar-Atmosphäre durchgeführt wurde, und die **Fig.** 24A und **Fig.** 24B geben die Fälle wieder, bei denen die N_2- und H_2-Atmosphäre verwendet wurde. Wie in der Tabelle 5 gezeigt ist, werden die COPs im wesentlichen in der N_2-Atmosphäre aufgelöst. Auch ist die Auflösung der COPs in einer Gasmischatmosphäre, in welcher N_2-Gas mit Ar- oder H_2-Gas gemischt ist, sanft verlaufend und insbesondere können die COPs in der H_2-Atmosphäre vollständig aufgelöst werden. Daraus ergibt sich, und es kann auch daraus abgeleitet werden, daß die Reduzierung der Größen der COPs in einem gleichartigen Wachstumszustand (as-grown state) einen Betrag beim vollständigen Auflösen der COPs während des RTA-Prozesses von **Fig.** 5 leisten kann.

[0103] Bei Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann die Verteilung der Sauerstoffausfällungen, die vermittels der nachfolgenden thermischen Prozeßzyklen gebildet werden, gesteuert werden, welche Zyklen gewöhnlich bei der Herstellung einer Halbleitervorrichtung ausgeführt werden, indem der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 an einem Siliziumwafer durchgeführt wird. Es werden nun Ausführungsformen gemäß einer gesamten Waferherstellung, während welcher der RTA-Prozeß gemäß der vorliegenden Erfindung ausgeführt wird und die Herstellung der Wafer, die bei der Anwendung des RTA-Prozesses effektiv sind, im folgenden beschrieben.

[0104] **Fig.** 25 zeigt ein Flußdiagramm, welches die Herstellung der Wafer gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung veranschaulicht, insbesondere einen allgemeinen Waferbildungsprozeß nach dem Kristallwachstum (S10) veranschaulicht. Ein Überblick über die allgemeine Waferherstellungstechnik wird in dem Kapitel 1 des Textbuches ”Silicon Processing for the VLSI Era, Volume 1, Process Technology” von S. Wolf und R. N. Tauber, 1986, Seiten 1–35, geliefert, dessen Offenbarungsgehalt hier durch Bezugnahme voll mit einbezogen wird. Um nun auf **Fig.** 25 einzugehen, so umfaßt der allgemeine Waferherstellungsprozeß den Kristallwachstumsschritt (S10) gemäß einem Wachsenlassen eines Rohlings unter Verwendung eines CZ-Ziehapparates, umfaßt einen Scheibenbildungsschritt (S12) gemäß einer Scheibenbildung des Rohlings im Wafer, einen Ätzschritt (S14) gemäß dem Abrunden der Ecken oder Kanten von jeder Scheibe oder Ätzen der Oberflächen der Scheiben. Dann wird nach einem ersten Reinigungsschritt (S16) gemäß einem Reinigen der Oberflächen der Scheiben ein Donor-Beseitigungsschritt (S18) ausgeführt und es werden die oberen Oberflächen des Wafers, wo die Halbleitervorrichtungen ausgebildet werden, poliert (S20) und es werden die polierten Wafer in einem zweiten Reinigungsschritt (S22) gereinigt. Dann werden die resultierenden Wafer verpackt (S24).

[0105] Der RTA-Prozeß von **Fig.** 5 gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird bei dem Donor-Beseitigungsschritt (S18) durchgeführt. Der RTA-Prozeß gemäß anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann in einem getrennten Schritt ausgeführt werden. Es kann jedoch bevorzugt sein, den RTA-Prozeß in dem Donor-Beseitigungsschritt (S18) im Hinblick auf die Kosten durchzuführen. Im allgemeinen verweist die Donor-Beseitigung auf einen Prozeß gemäß der Umwandlung der Sauerstoffkomponente, die in dem Siliziumrohling enthalten ist, die in Form von Ionen während des nachfolgenden Herstellungsvorganges der Halbleitervorrichtung vorhanden sind und als ein Donor von Elektronen wirken, um Fremdstoffionen zu implantieren, in Sauerstoffausfällungen vermittels einer Hitzebehandlung während des Waferherstellungsprozesses, um die Möglichkeit des Funktionierens als Donor zu reduzieren. Die Hitzebehandlung wird bei ca. 700°C für etwa 30 Sekunden oder mehr in einem RTA-Ofen durchgeführt.

[0106] **Fig.** 27 zeigt eine schematische Ansicht eines herkömmlichen CZ-Ziehapparates, in welchem das Kristallwachstum (S10) durchgeführt wird. Wie in **Fig.** 27 gezeigt ist, enthält der CZ-Ziehapparat **100** einen Ofen, einen Kristallziehmechanismus, einen Umgebungsregler und ein computergestütztes Steuersystem. Der CZ-Ofen wird allgemein als ein Heißzonenofen bezeichnet. Der Heißzonenofen enthält eine Heizvorrichtung **104**, einen Tiegel **106**, der aus Quarz hergestellt sein kann, einen Suszeptor **108**, der aus Graphit hergestellt sein kann, und eine Drehwelle **110**, die sich um eine Achse in einer ersten Richtung **112** dreht, wie dies gezeigt ist.

[0107] Ein Kühlmantel oder Port **132** wird mit Hilfe einer externen Kühleinrichtung, wie beispielsweise einer Wasserkühlung, gekühlt. Ein Hitzeschild **114** kann eine zusätzliche thermische Verteilung liefern. Eine Hitzepackung **102** ist mit einem hitzeabsorbierenden Material **116** gefüllt, um eine zusätzliche thermische Verteilung zu erzeugen.

[0108] Der Kristallziehmechanismus enthält eine Kristallziehwelle **120**, die sich um die Achse in einer zweiten Richtung **122** drehen kann, und zwar entgegengesetzt zu der ersten Richtung **112**, wie dies dargestellt ist. Die Kristallziehwelle **120** enthält einen Impfstoffhalter **120a** an dem Ende derselben. Der Impfstoffhalter **120a** hält Impfstoffkristalle **124**, die aus einem geschmolzenen Silizium **126** in dem Tiegel **106** gezogen werden, um einen Block oder Rohling **128** zu bilden.

[0109] Das Umgebungssteuersystem kann eine Kammerumschließung **130**, den Kühlmantel **132** und andere Strömungsregler und Vakuumauslaßsysteme haben, die nicht gezeigt sind. Ein computergestütztes Steuersystem kann dazu verwendet werden, um die Heizelemente, das Ziehgerät und andere elektrische und mechanische Elemente zu steuern.

[0110] Um einen monokristallinen Siliziumblock wachsen zu lassen, wird der Impfkristall **124** mit der Siliziumschmelze **126** in Berührung gebracht und wird allmählich in axialer Richtung (nach oben) gezogen. Es tritt ein Abkühlen und Aushärten des geschmolzenen Siliziums **126** in Form eines einkristallinen Siliziums an der Zwischenschicht **131** zwischen dem Rohling **128** und der Siliziumschmelze **126** auf. Wie in **Fig.** 27 gezeigt ist, ist die Zwischenschicht **131** relativ zu dem geschmolzenen Silizium **126** konkav.

[0111] Ein gesteuertes Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil, wie es in **Fig.** 4 gezeigt ist, kann aus wenigstens drei Typen des Siliziumwafers vermittels der Ausführungsformen des RTA-Prozesses nach der vorliegenden Erfindung erhalten werden. Spezifischer gesagt, kann der RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bei einem ”perfekten” Wafer angewendet werden, bei dem keine Störstellen, wie Zwischenraumagglomerate, Leerstellenagglomerate, existieren; bei einem ”halbperfekten” Wafer, in welchem Leerstellenagglomerate in lediglich einer leerstellenreichen Zone innerhalb eines vorbestimmten Radius vom Zentrum des Wafers vorhanden sind, und keine Leerstellenagglomerate und Zwischenraumagglomerate außerhalb der leerstellenreichen Zone vorhanden sind; und bei einem Wafer angewendet werden, der lediglich Leerstellenagglomerate durch den Wafer hindurch, jedoch ohne Zwischenraumagglomerate aufweist. Jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf die zuvor angegebenen Wafer beschränkt und umfaßt alle Typen von Wafer, bei denen das Prinzip der vorliegenden Erfindung angewendet werden kann. Wie oben beschrieben wurde, sind die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auf ein gesteuertes Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil gerichtet, wie es in **Fig.** 4 gezeigt ist, welches dadurch erzielt werden kann, indem ein RTA-Prozeß der **Fig.** 5 und eine nachfolgende behandlung eines Siliziumwafers durchgeführt wird, bei welchem die vorliegende Erfindung angewendet werden kann. Auch in Verbindung mit den COPs liefern die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung einen Wafer, bei dem die COPs lediglich in der Hauptzone oder Massenzone des Wafers und nicht in den DZs vorhanden sind.

[0112] Um die Störstellen der Siliziumwafer zu verhindern, haben sich viele praktische Anstrengungen auf einen Kristallwachstumsprozeß für einen hochreinen Block oder Rohling konzentriert. Beispielsweise ist es weit

reichend bekannt, daß die Ziehrate des Keimkristalls und die Temperaturgradienten in der Heißzonenstruktur gesteuert werden sollten. Die Steuerung der Ziehrate (V) des Rohlings und die Temperaturgradienten (G) der Rohlingssiliziumschmelze-Zwischenschicht werden in Einzelheiten in "The Mechanism of Swirl Defects Formation in Silicon" von Voronkov, Journal of Crystal Growth, Vol. 59, 1982, Seiten 625–643, beschrieben. Auch kann eine Anwendung von Voronkov's Theorie in einer Veröffentlichung von dem vorliegenden Erfinder et al. mit dem Titel "Effect of Crystal Defects an Device Characteristics", Proceedings of the Second International Symposium an Advanced Science and Technology of Silicon Material, November 25–29, 1996, Seite 519, gefunden werden. Diese Publikation offenbart, daß dann, wenn das Verhältnis von V zu G (als V/G-Verhältnis bezeichnet) unter einem kritischen Verhältnis (V/G)* liegt, eine zwischenraumreiche Zone ausgebildet wird, während dann, wenn die V/G-Verhältnisse über dem kritischen Verhältnis (V/G)* liegen, eine leerstellenreiche Zone ausgebildet wird.

[0113] Insbesondere zeigt **Fig.** 26 eine konzeptmäßige Ansicht, welche die Beziehung zwischen einer relativen Punktdefektverteilung in einem Siliziumrohling und dem V/G-Verhältnis veranschaulicht. Wie in **Fig.** 26 gezeigt ist, wird während des Rohlingswachstums für ein V/G-Verhältnis über einem kritischen V/G-Verhältnis (V/G)* eine leerstellenreiche Zone ausgebildet. Auch für ein V/G-Verhältnis, bei dem die Leerstellenkonzentration über einer kritischen Leerstellenkonzentration CV* liegt, werden Leerstellenagglomerate gebildet, während für ein V/G-Verhältnis, bei dem die Zwischenraumkonzentration über einer kritischen Zwischenraumkonzentration CI* liegt, Zwischenraumagglomerate gebildet werden. Auch gibt in **Fig.** 26 die Breite von $(V/G)_I$* bis $(V/G)_B$* ein B-Band wieder, welches zu eingelagterten Defekten (Versetzungen geringer Größe) in Beziehung steht die Breite von $(V/G)_V$* bis $(V/G)_P$* gibt ein P-Band an, welches aus einem O.S.F.-Ring besteht (Sauerstoffausfällungen großen Umfangs).

[0114] Es können Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bei einem perfekten Wafer ohne Störstellen angewendet werden, der ein V/G-Verhältnis zwischen dem B-Band und dem P-Band während des Rohlingswachstums besitzt, bei einem halbperfekten Wafer angewendet werden, der ein V/G-Verhältnis einschließlich des P-Bandes besitzt, und bei einem Wafer angewendet werden, bei dem die Leerstellenagglomerate durch den Wafer hindurch ausgebildet sind, und zwar auf Grund dessen, daß das V/G-Verhältnis über dem kritischen V/G-Verhältnis $(V/G)_V$* entsprechend der kritischen Leerstellenkonzentration C_V* liegt.

[0115] Perfekte Wafer und halb-perfekte Wafer, bei denen die vorliegende Erfindung anwendbar ist, sind in Einzelheiten in der US-Anmeldung Nr. 08/989,591 und in den Continuation-in-Part-Anmeldungen derselben, nämlich der US-Anmeldungen Nrn. 09/320,210 und 09/320,102 beschrieben, die hier unter Bezugnahme voll mit einbezogen werden. Somit wird eine detaillierte Beschreibung derselben hier weggelassen.

[0116] **Fig.** 28 zeigt eine schematische Ansicht eines modifizierten CZ-Ziehgerätes, welches in den Continuation-in-Part-Anmeldungen offenbart ist, bei dem ein Hitzeschild **214** verglichen mit dem CZ-Ziehgerät, welches in **Fig.** 27 gezeigt ist, modifiziert ist. Kurz gesagt, enthält das modifizierte CZ-Ziehgerät **200**, wie in **Fig.** 28 dargestellt ist, einen Ofen, einen Kristallziehmechanismus, einen Umgebungsregler und ein computergestütztes Steuersystem. Der Heißzonenofen enthält eine Heizvorrichtung **204**, einen Tiegel **206**, einen Succeptor **208** und eine Drehwelle **210**, die sich um eine Achse in einer ersten Richtung **212** dreht, wie dies dargestellt ist. Ein Kühlmantel **232** und ein Hitzeschild **214** können zusätzlich für eine thermische Verteilung vorgesehen sein, und eine Hitzepackung **202** enthält ein wärmeabsorbierendes Material **216**, um eine zusätzliche thermische Verteilung zu erzeugen.

[0117] Der Kristallziehmechanismus enthält eine Kristallziehwelle **220**, die sich um die Achse in einer zweiten Richtung **222**, entgegengesetzt zur ersten Richtung **212**, dreht, die wie dies gezeigt ist. Die Kristallziehwelle **220** enthält einen Keimhalter **220a** am Ende derselben. Der Keimhalter **220a** hält einen Keimkristall **224**, der aus der Siliziumschmelze in dem Tiegel **206** gezogen wird, um einen Block oder Rohling **228** herzustellen.

[0118] Das Umgebungssteuersystem kann eine Kammerumschließung **230** enthalten, ebenso den Kühlmantel **232** und andere Strömungsregler und Vakuument-lüftungssysteme, die nicht gezeigt sind. Das computergestützte Steuersystem kann dazu verwendet werden, um die Heizelemente, das Ziehgerät und andere elektrische und mechanische Elemente zu steuern.

[0119] Um einen monokristallinen Siliziumblock wachsen zu lassen, wird ein Keimkristall **224** in Berührung mit der Siliziumschmelze **226** gebracht und wird allmählich in der axialen Richtung (aufwärts) gezogen. Das Abkühlen und das Aushärten des geschmolzenen Siliziums **226** in das monokristalline Silizium erfolgt an der Zwischenschicht **231** zwischen dem Block **228** und der Siliziumschmelze **226**. Im Gegensatz zu dem CZ-

Ziehgerät von **Fig.** 27, enthält das CZ-Ziehgerät **200** der **Fig.** 28 ferner ein Hitzeschildgehäuse **234** in dem Hitzeschild **214**, welches eine genauere Steuerung des V/G-Verhältnisses ermöglicht.

[0120] **Fig.** 29 zeigt eine schematische Ansicht eines modifizierten CZ-Ziehgerätes und **Fig.** 30 veranschaulicht Einzelheiten von modifizierten Teilen des CZ-Ziehgerätes von **Fig.** 29. In den **Fig.** 29 und **Fig.** 30 sind gleiche Bezugszeichen, die in **Fig.** 28 verwendet sind, dazu verwendet, um gleiche Elemente zu bezeichnen, und lediglich die Unterschiede gegenüber dem CZ-Ziehgerät von **Fig.** 28 werden beschrieben. Wie in den **Fig.** 29 und **Fig.** 30 gezeigt ist, umfassen die Änderungen in dem CZ-Ziehgerät von **Fig.** 28 die Gestalt eines Hitzeschildgehäuses **300** und die zusätzliche Installation einer Hitzeschildplatte **360**. Das Hitzeschildgehäuse **300**, welches eine um 90° gedrehte Trapezgestalt hat, ähnlich einem Ring, enthält eine innere Hitzeschildgehäusewand **310** und eine äußere Hitzeschildgehäusewand **330**, die in bevorzugter Weise vertikal verlaufen, und einen Hitzeschildgehäuseoberabschnitt **340** und einen Hitzeschildgehäuseboden **320**, welche die inneren und die äußeren Hitzeschildgehäusewände **310** und **330** verbinden. Hierbei verläuft das Hitzeschildgehäuseoberteil **340** schräg nach oben in einem Winkel von, und zwar von der Horizontalen von der inneren Hitzeschildgehäusewand **310** aus zu der äußeren Hitzeschildgehäusewand **330** hin, während der Hitzeschildgehäuseboden **320** nach unten schräg abfällt in einem Winkel von α von der Horizontalen von der inneren Hitzeschildgehäusewand **310** zur äußeren Hitzeschildgehäusewand **330** hin, wobei die trapezförmige Gestalt, wie sie dargestellt ist, gebildet wird.

[0121] Das ringförmig gestaltete Hitzeschildgehäuse **300** kann mit einem wärmeabsorbierenden Material (nicht gezeigt) gefüllt sein und kann aus Kohlenstoff-Ferrit gebildet sein.

[0122] Auch ist das Hitzeschildgehäuse **300** an dem oberen Teil der Hitzepackung **202** durch ein Halterungsteil **350** befestigt. Die Hitzeschildplatte **360** ist zwischen dem Hitzeschildgehäuseoberteil **340** des Hitzeschildgehäuses **300** und dem Kühlmantel **232** um den Rohling herum, der gezogen wird, angeordnet.

[0123] Die Konfiguration des CZ-Ziehgerätes, welches in den **Fig.** 29 und **Fig.** 30 gezeigt ist, schafft die Möglichkeit, die Abkühlrate des Rohlings zu erhöhen. Die Größe der Leerstellen (voids), die in dem gezogenen Rohling vorhanden sind, ist allgemein proportional der Quadratwurzel aus der anfänglichen Leerstellenkonzentration an der Zwischenschicht zwischen Rohling und Siliziumschmelze, ist jedoch umgekehrt proportional zu der Quadratwurzel aus der Abkühlrate des Rohlings. Wie unter Hinweis auf **Fig.** 11 beschrieben wurde, gilt, solange die Größe der Leerstellen, die in dem Rohling vorhanden sind, die während des Kristallwachstums ausgebildet werden, kleiner ist als eine vorbestimmte Größe, obwohl der gezogene Rohling Leerstellen enthält, können die Leerstellen von der DZ durch den RTA-Prozeß gemäß den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung aufgelöst werden.

[0124] Um daher die Größe der Leerstellen in dem Rohling oder Block zu reduzieren, kann die Abkühlrate des Rohlings oder Blockes erhöht werden. Wenn die Abkühlrate des Blockes oder Rohlings erhöht wird, nimmt ein Temperaturgradient Gc am Zentrum des Blockes zu. Wenn daher das V/G-Verhältnis für eine vorbestimmte Störstellenverteilung konstant ist, sollte die Ziehrate des Blockes oder Rohlings (V) erhöht werden.

[0125] Um die Abkühlrate des Rohlings auf wenigstens 1,4°K/Minute oder mehr basierend auf der Temperatur des Rohlings am Zentrum desselben zu erhöhen, um den Rohling von der Temperatur an der Grenzschicht zwischen Rohling und Siliziumschmelze aus abzukühlen, und zwar auf eine vorbestimmte Temperatur des Rohlings, kann wenigstens eine der Größen gemäß der Länge a der inneren Hitzeschildgehäusewand **310**, die Länge c der äußeren Hitzeschildgehäusewand **330**, der Winkel β des Hitzeschild-gehäuseoberteiles **340**, der Winkel α des Hitzeschildgehäusebodens **320**, der Abstand d zwischen dem Rohling **228** und der inneren Hitzeschildgehäusewand **310**, der Abstand f zwischen dem Tiegel **206** und der äußeren Hitzeschildgehäusewand **330**, der Abstand e zwischen der inneren und der äußeren Hitzeschildgehäusewand **310** und **330**, der Abstand b zwischen der inneren Hitzeschildgehäusewand **310** und der Siliziumschmelze **226** und die Position der Hitzeschildplatte **260** variiert werden.

[0126] Bei dem CZ-Ziehgerät von **Fig.** 29 kann auf Grund der hohen Abkühlrate des gezogenen Rohlings die Ziehrate des Rohlings erhöht werden, beispielsweise in dem Bereich von 0,50 bis 1,00 mm/Minute, so daß die Produktivität des Rohlings erhöht werden kann. Zusätzlich können Verarbeitungsrandbedingungen für das Erzielen von perfekten Wafern oder halb-perfekten Wafern, die mit Hilfe des CZ-Ziehgerätes von **Fig.** 28 hergestellt werden, für das Wachstum des Rohlings oder Blockes vorgesehen werden.

[0127] In den Zeichnungen und in der vorangegangenen Beschreibung wurden typische bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung offenbart und obwohl dabei spezifische Ausdrücke verwendet wurden, wurde die-

se lediglich in einem gattungsmäßigen und beschreibenden Sinn verwendet und nicht zum Zwecke einer Einschränkung des Rahmens der Erfindung, der sich aus den nachfolgenden Ansprüchen ergibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Siliziumwafers, mit den folgenden Schritten:
Durchführen eines schnellen thermischen Anlaßprozesses (RTA) bei einem Siliziumwafer mit einer oberen Oberfläche und einer Bodenfläche in einer Atmosphäre aus einer Gasmischung, die Stickstoffgas enthält, welches einen Leerstelleninjektionseffekt aufweist, und Argon und/oder Wasserstoff enthält, welches einen Zwischenraumsiliziuminjektionseffekt an der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Siliziumwafers aufweist, um Keimzentren zu erzeugen, die als Sauerstoffausfällungswachstumsstellen während der nachfolgenden Wärmebehandlung dienen, und zwar in einem Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil von der oberen Oberfläche zur Bodenfläche des Wafers hin, wobei das Sauerstoffausfällungskonzentrationsprofil folgendes aufweist:
eine erste und eine zweite Spitze in einer ersten bzw. zweiten vorbestimmten Tiefe von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers aus;
eine denudierte Zone zwischen der oberen Oberfläche des Wafers und der ersten Spitze und zwischen der Bodenfläche des Wafers und der zweiten Spitze; und
eine konkave Zone zwischen der ersten und der zweiten Spitze, wobei das Ausfällungs-Konzentrationsprofil in der folgenden Weise ausgebildet wird:
a) Bereitstellen eines Siliziumwafers;
b) Erhitzen des Siliziumwafers bis zu einer ersten vorbestimmten Standby-Temperatur von etwa 700°C für eine Standby-Periode (I) innerhalb eines RTA Ofens;
c) dann schnelles Erhöhen der Temperatur des Siliziumwafers bis auf eine zweite Temperatur zwischen etwa 1150°C und 1250°C;
d) Aufrechterhalten der zweiten Temperatur für eine vorbestimmte Periode;
e) schnelles Absenken der Temperatur des RTA Ofens bis die erste Standby-Temperatur erreicht ist; und
f) nachfolgende Wärmebehandlung des Siliziumwafers bei einer Temperatur zwischen 800°C und 1000°C während einer Zeit von 4 bis 20 Stunden,
wobei die Sauerstoffausfällungskonzentrationen in der ersten und in der zweiten Spitze und in der konkaven Zone dadurch gesteuert werden, indem ein Mischverhältnis der Gasmischung eingestellt wird; und
wobei die Tiefen der denudierten Zonen ebenfalls durch Einstellen eines Mischverhältnisses der Gasmischung gesteuert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt der Durchführung eines schnellen thermischen Anlaßprozesses auch ein Leerstellenkonzentrationsprofil von der oberen Oberfläche zur Bodenfläche des Wafers hin erzeugt, wobei das Leerstellenkonzentrationsprofil folgendes aufweist:
eine erste und eine zweite Spitze in einer ersten bzw. zweiten vorbestimmten Tiefe von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Wafers aus;
eine Zone mit einer vorbestimmten Leerstellenkonzentration, die niedriger ist als eine kritische Konzentration, zwischen der oberen Oberfläche des Wafers und der ersten Spitze und zwischen der Bodenfläche des Wafers und der zweiten Spitze; und
eine konkave Zone zwischen der ersten und der zweiten Spitze.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Sauerstoffausfällungskonzentrationen in der ersten und in der zweiten Spitze und in der konkaven Zone ferner durch Einstellen der Temperatur und der Zeit des schnellen thermischen Anlaßprozesses gesteuert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt der Durchführung des schnellen thermischen Anlaßprozesses bei etwa 1150°C oder mehr für etwa 30 Sekunden oder mehr durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt der Durchführung des schnellen thermischen Anlaßprozesses bei etwa 1250°C für etwa 5 Sekunden durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Tiefe der denudierten Zonen in dem Bereich von etwa 20 µm bis etwa 40 µm von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Siliziumwafers aus eingestellt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Tiefe der denudierten Zonen etwa 30 µm von der oberen Oberfläche und der Bodenfläche des Siliziumwafers aus eingestellt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem Sauerstoffausfällungskonzentrationen an der ersten und an der zweiten Spitze wenigstens etwa 1×10^9 cm^{-3} betragen.

9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Sauerstoffausfällungskonzentration in der konkaven Zone zwischen der ersten Spitze und der zweiten Spitze wenigstens etwa 1×10^8 cm^{-3} beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das schnelle thermische Anfassen während eines Donor-Beseitigungsschrittes eines Waferherstellungsprozesses für den Siliziumwafer ausgeführt wird, wobei bei dem Donor-Beseitigungsprozess Sauerstoffkomponenten, die in dem Siliziumrohling enthalten sind, in die Form von Ionen gebracht werden.

11. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ferner die obere Oberfläche des Wafers nach der Ausführung des schnellen thermischen Anlaßprozesses poliert wird.

12. Siliziumwafer, die nach einem der Verfahren der Ansprüche 1 bis 11 hergestellt wurden.

Es folgen 22 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

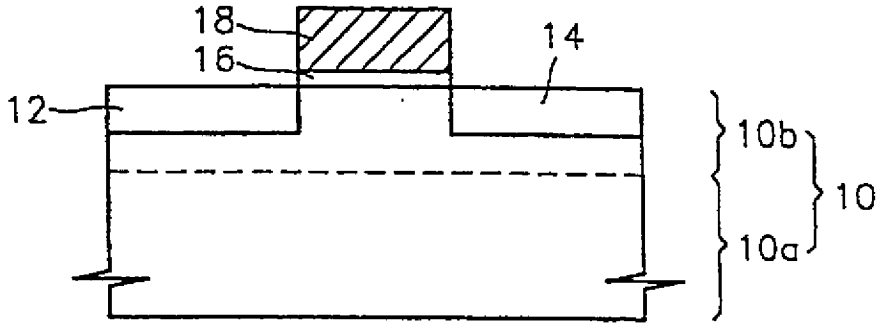


FIG. 2 (STAND DER TECHNIK)

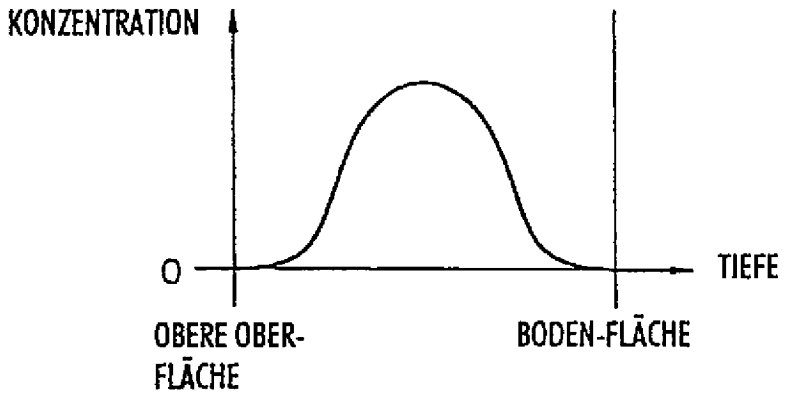


FIG. 3 (STAND DER TECHNIK)

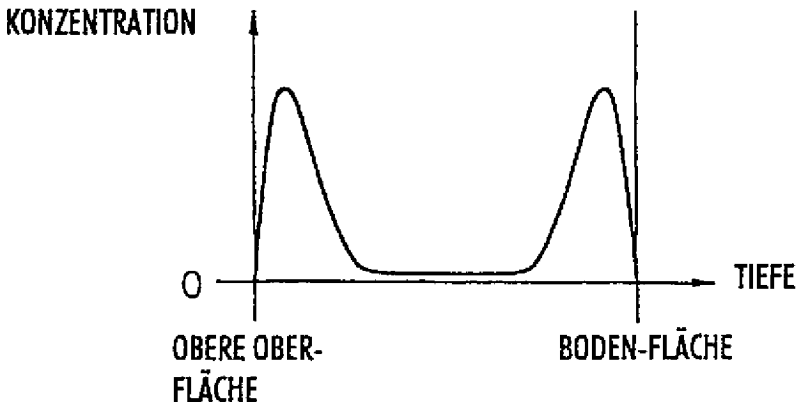


FIG. 4

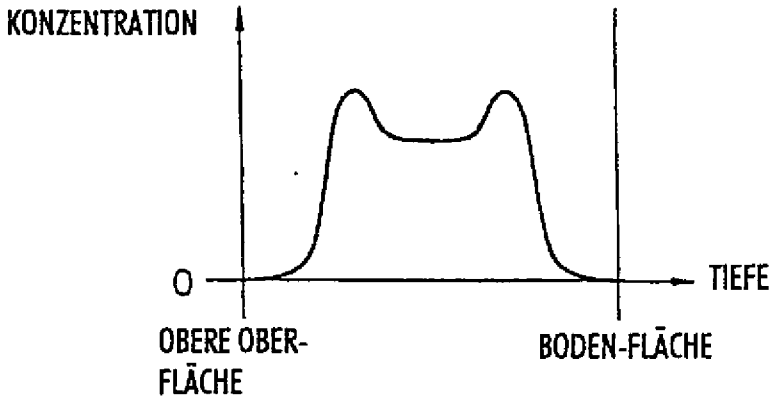

KONZENTRATION
0
TIEFE
OBERE OBER-FLÄCHE
BODEN-FLÄCHE

FIG. 5

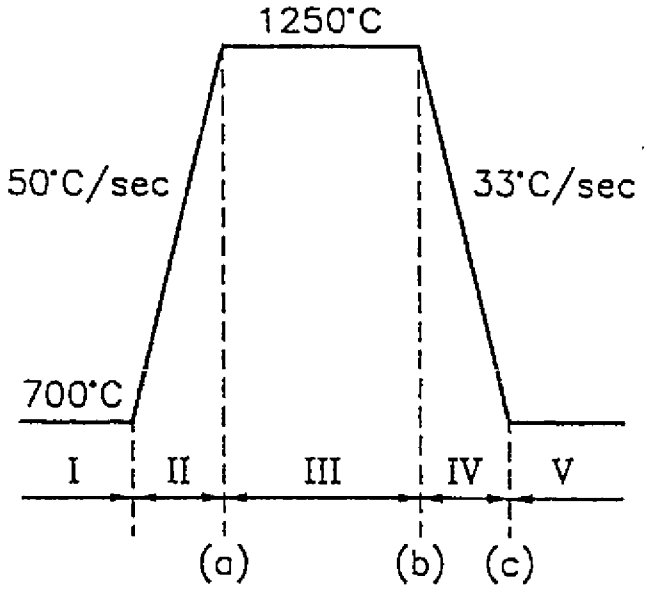

1250°C
50°C/sec
33°C/sec
700°C
I
II
III
IV
V
(a)
(b)
(c)

FIG. 6

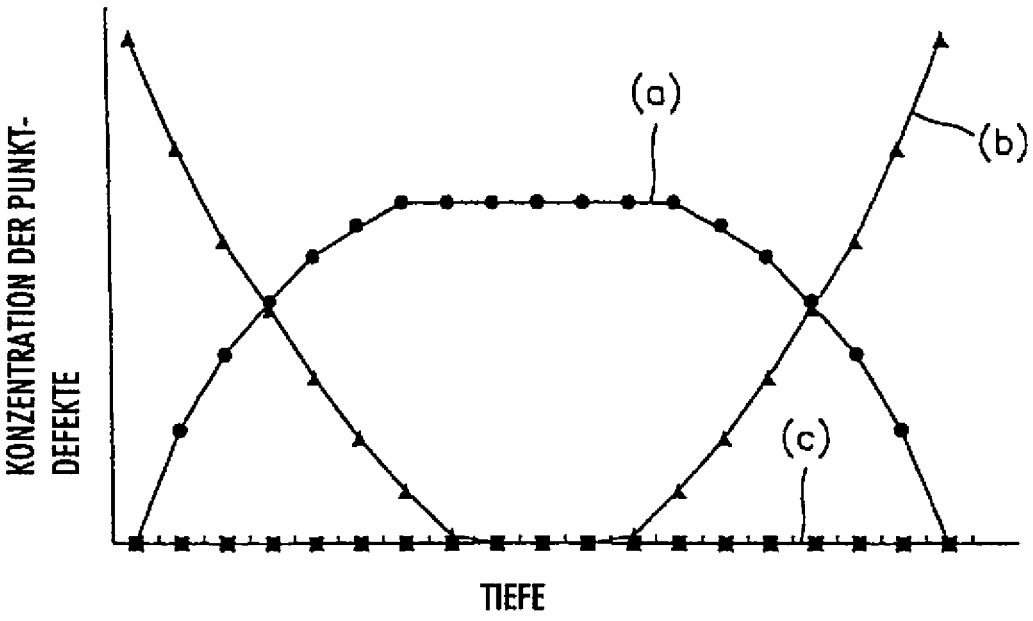

KONZENTRATION DER PUNKT-DEFEKTE
(a)
(b)
(c)
TIEFE

FIG. 7

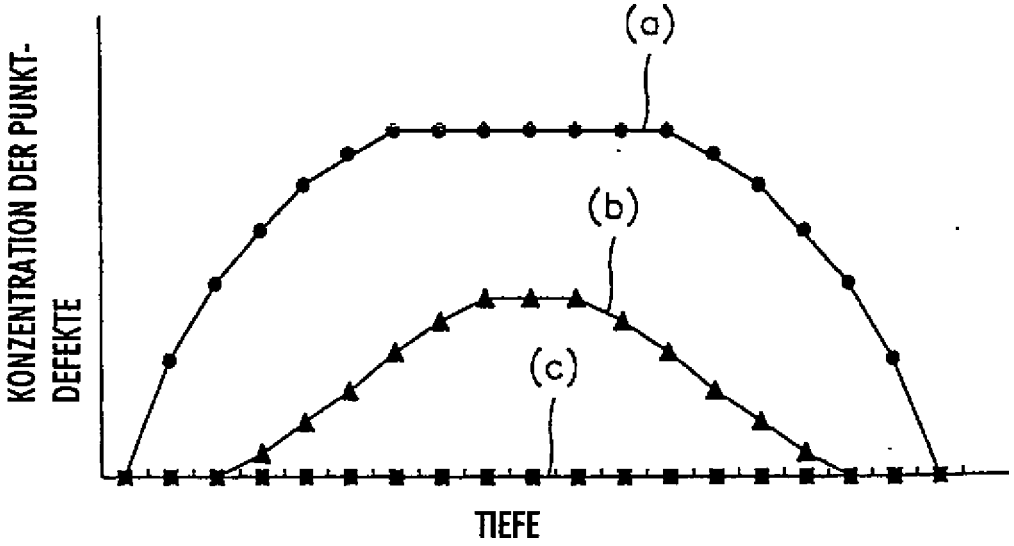

KONZENTRATION DER PUNKT-DEFEKTE
(a)
(b)
(c)
TIEFE

FIG. 8

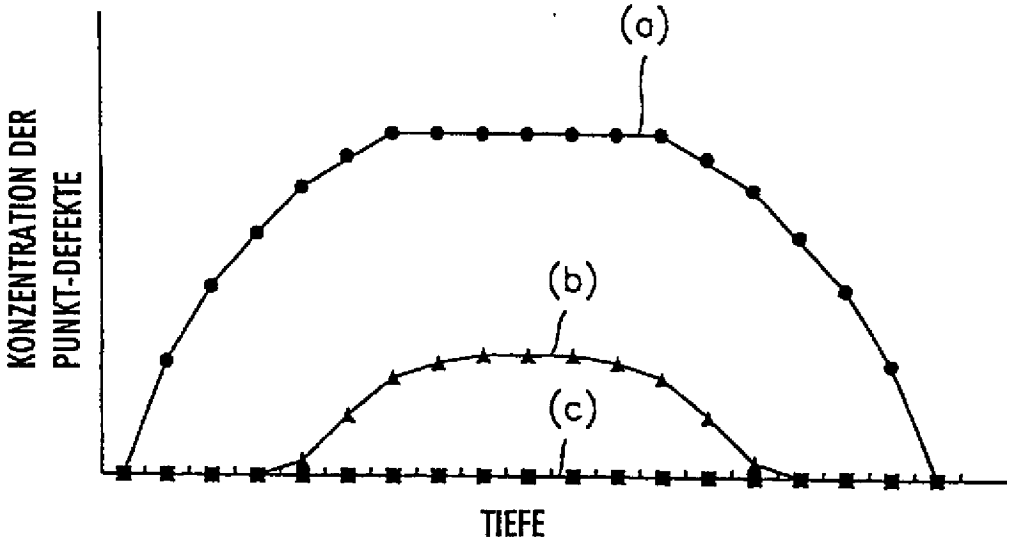

(a)
(b)
(c)
KONZENTRATION DER PUNKT-DEFEKTE
TIEFE

FIG. 9

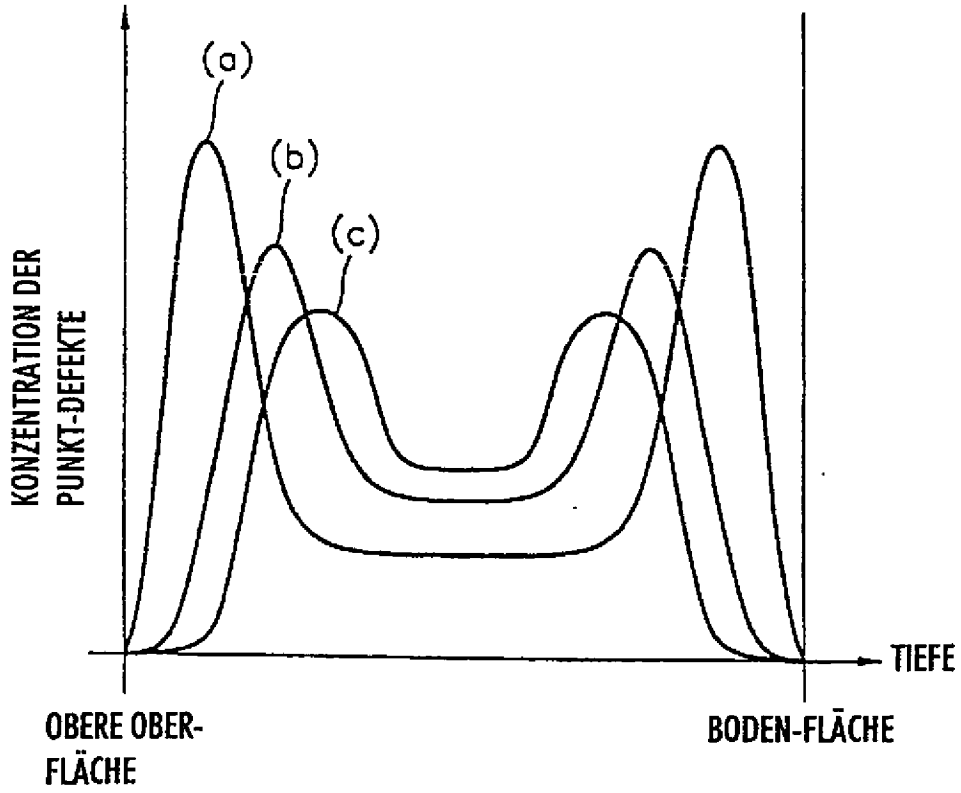

(a)
(b)
(c)
KONZENTRATION DER PUNKT-DEFEKTE
TIEFE
OBERE OBER-FLÄCHE
BODEN-FLÄCHE

FIG. 10

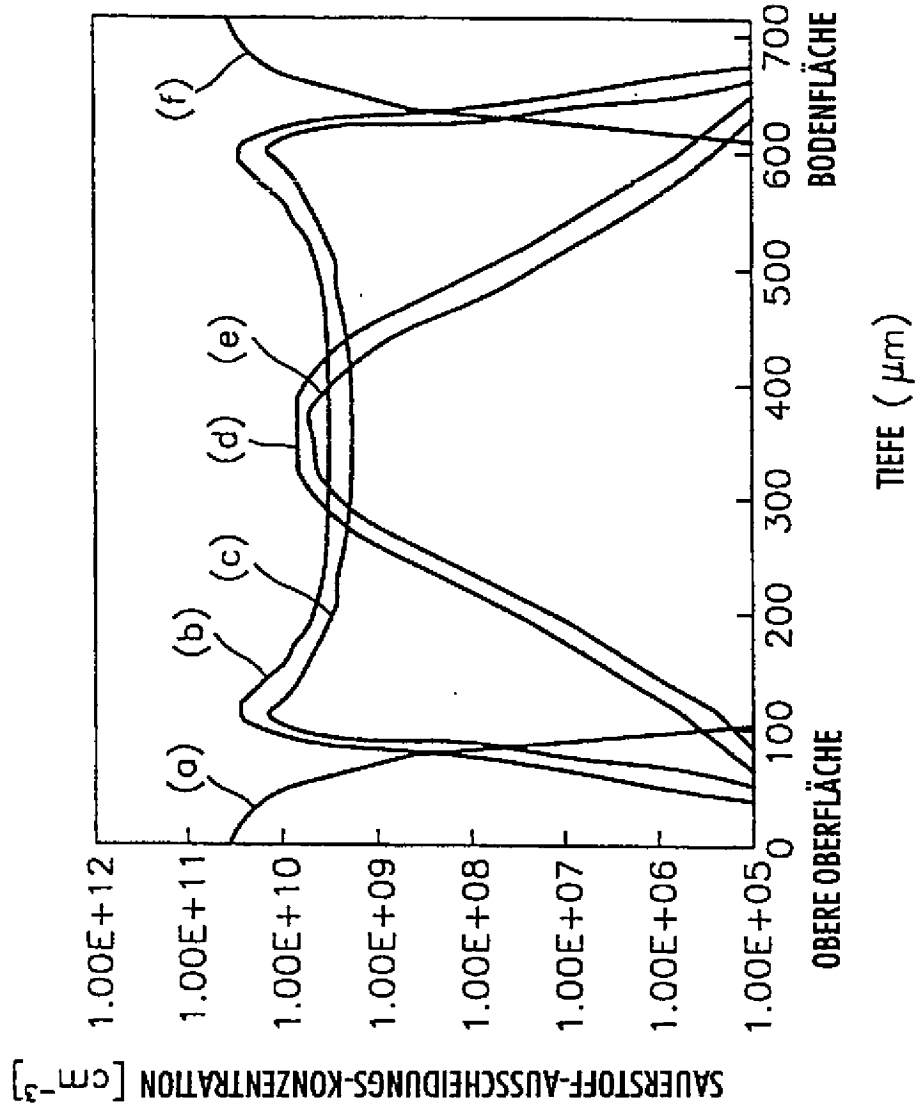

SAUERSTOFF-AUSSCHEIDUNGS-KONZENTRATION [cm⁻³]
1.00E+12
1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
1.00E+06
1.00E+05
0
100
200
300
400
500
600
700
OBERE OBERFLÄCHE
BODENFLÄCHE
TIEFE (μm)
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)

FIG. 11

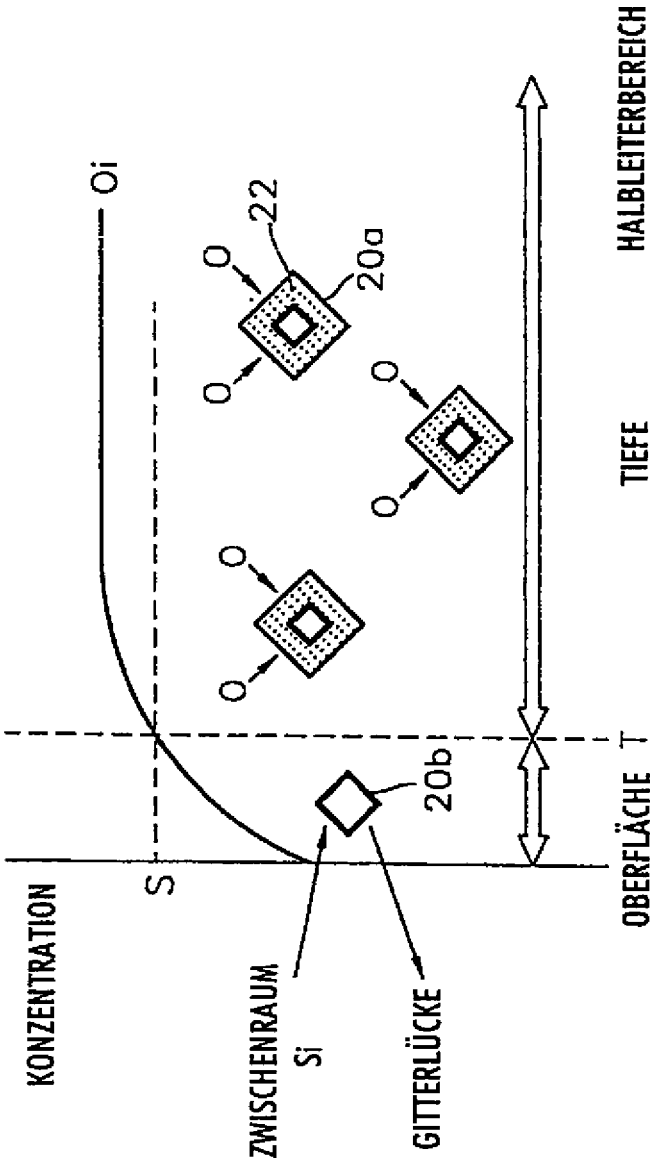

Oi
O
22
20a
O
O
O
O
O
O
20b
S
T
KONZENTRATION
ZWISCHENRAUM
Si
GITTERLÜCKE
OBERFLÄCHE
TIEFE
HALBLEITERBEREICH

FIG. 12

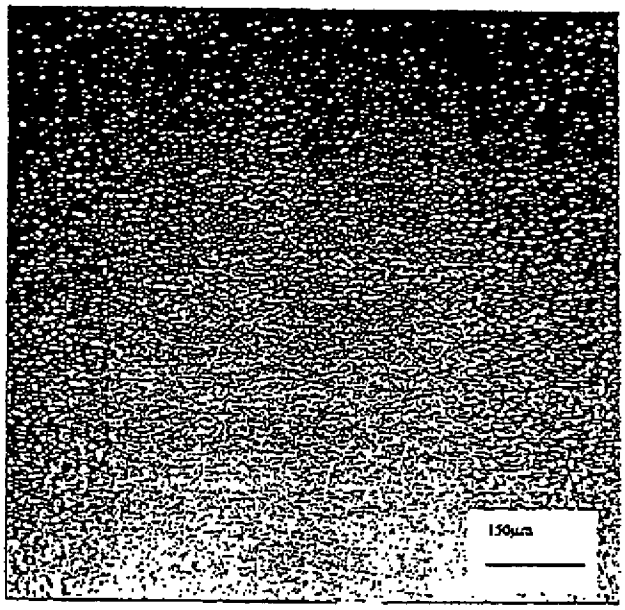


FIG. 13

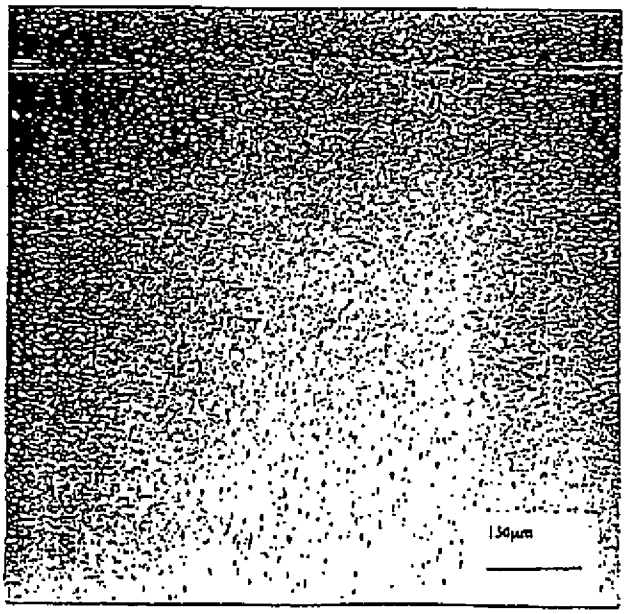


FIG. 14

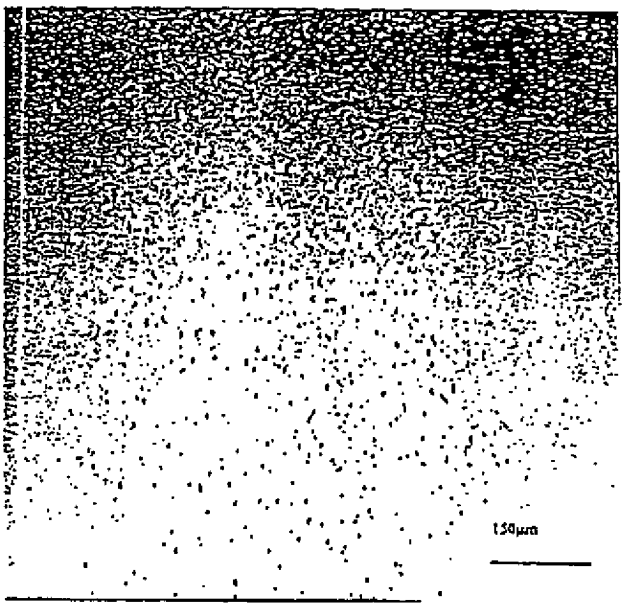


FIG. 15

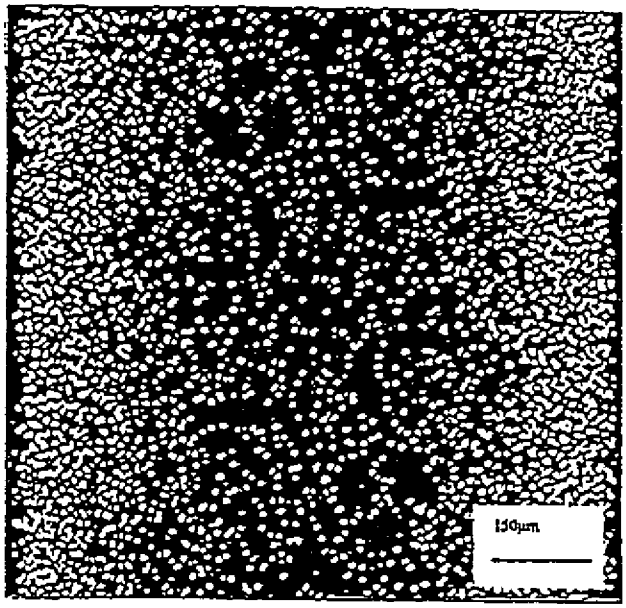


FIG. 16

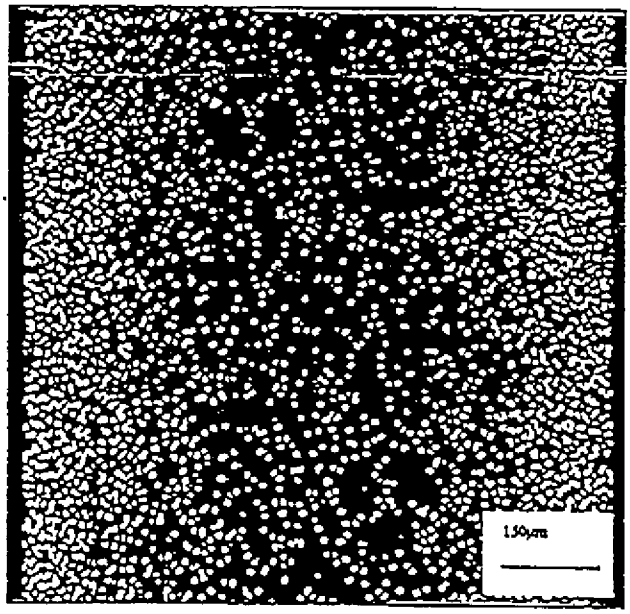


FIG. 17

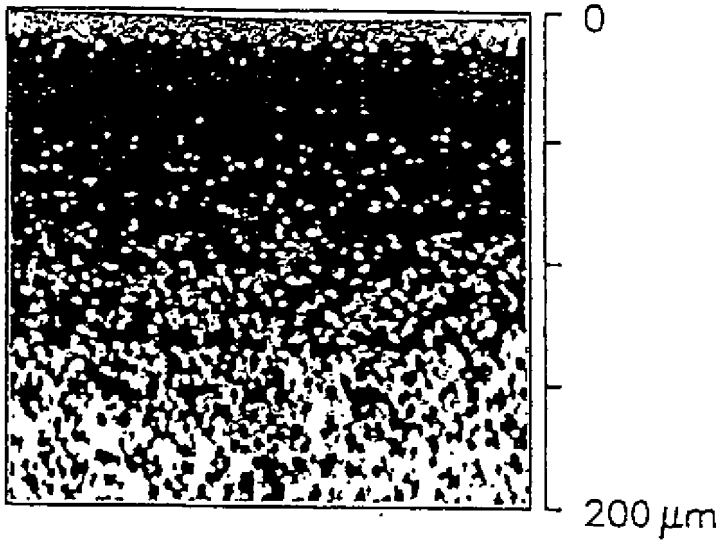


FIG. 18

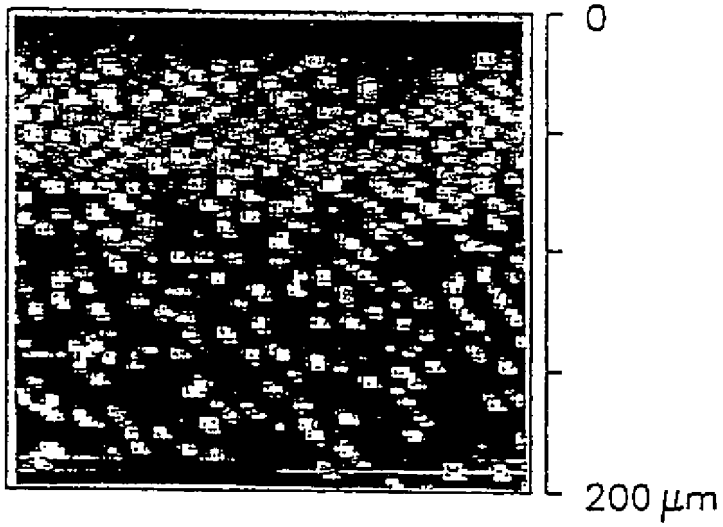


FIG. 19

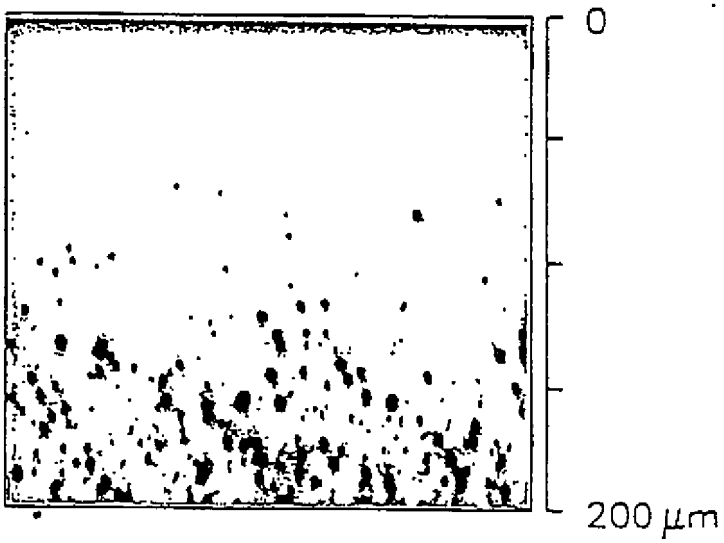


FIG. 20

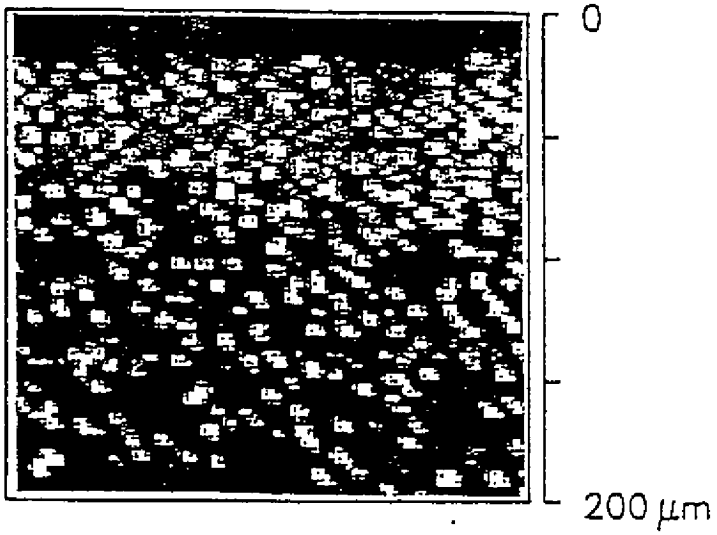


FIG. 21

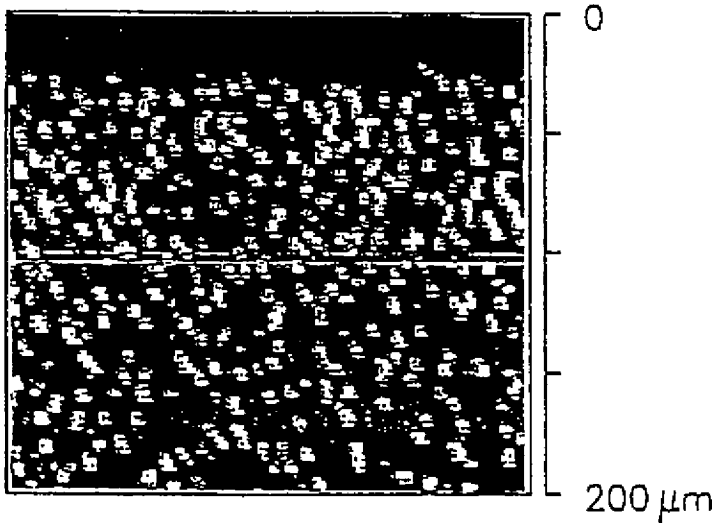


FIG. 22A

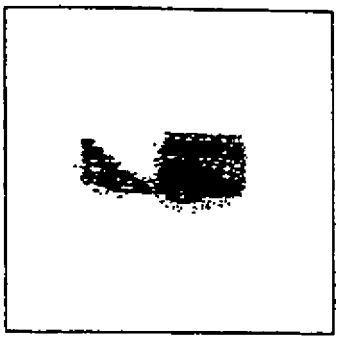


FIG. 22B

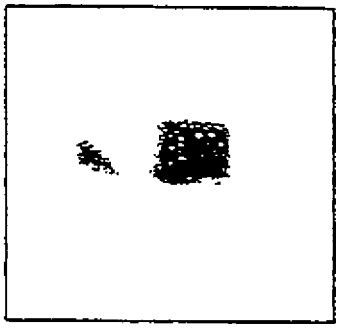


FIG. 23A

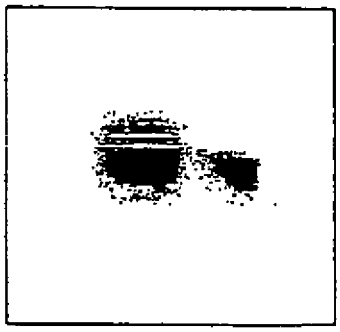


FIG. 23B

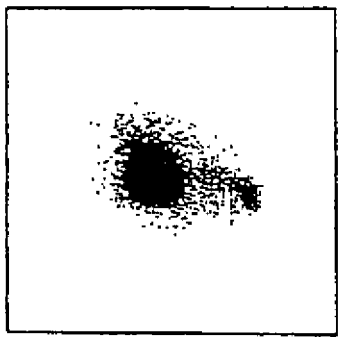


FIG. 24A

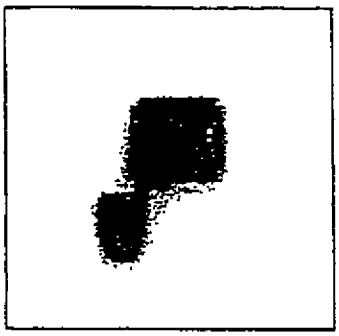


FIG. 24B

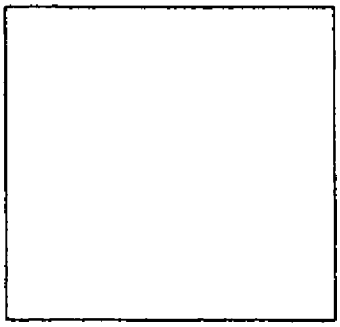


FIG. 25

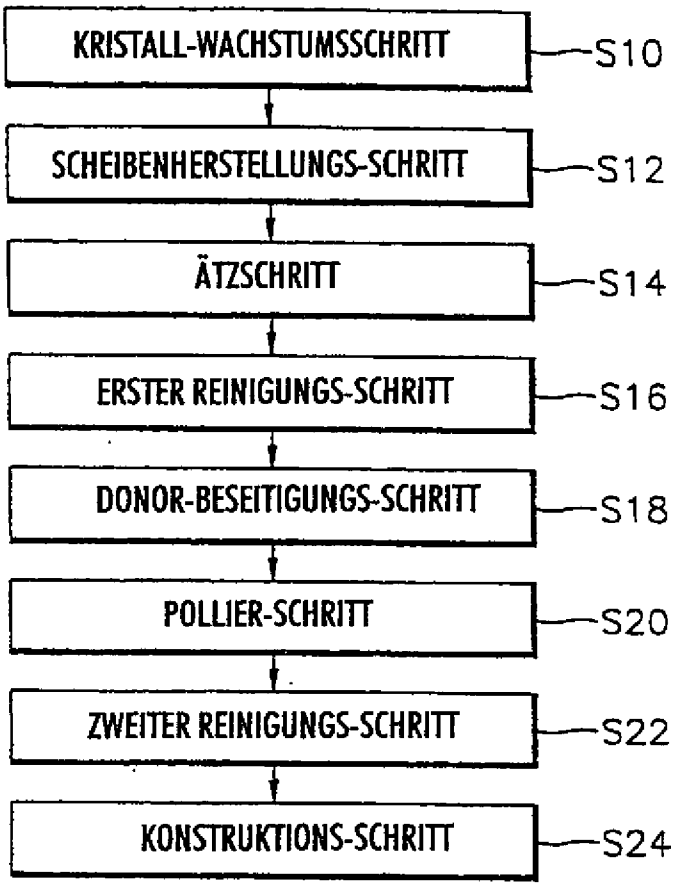

KRISTALL-WACHSTUMSSCHRITT
S10
SCHEIBENHERSTELLUNGS-SCHRITT
S12
ÄTZSCHRITT
S14
ERSTER REINIGUNGS-SCHRITT
S16
DONOR-BESEITIGUNGS-SCHRITT
S18
POLLIER-SCHRITT
S20
ZWEITER REINIGUNGS-SCHRITT
S22
KONSTRUKTIONS-SCHRITT
S24

FIG. 26

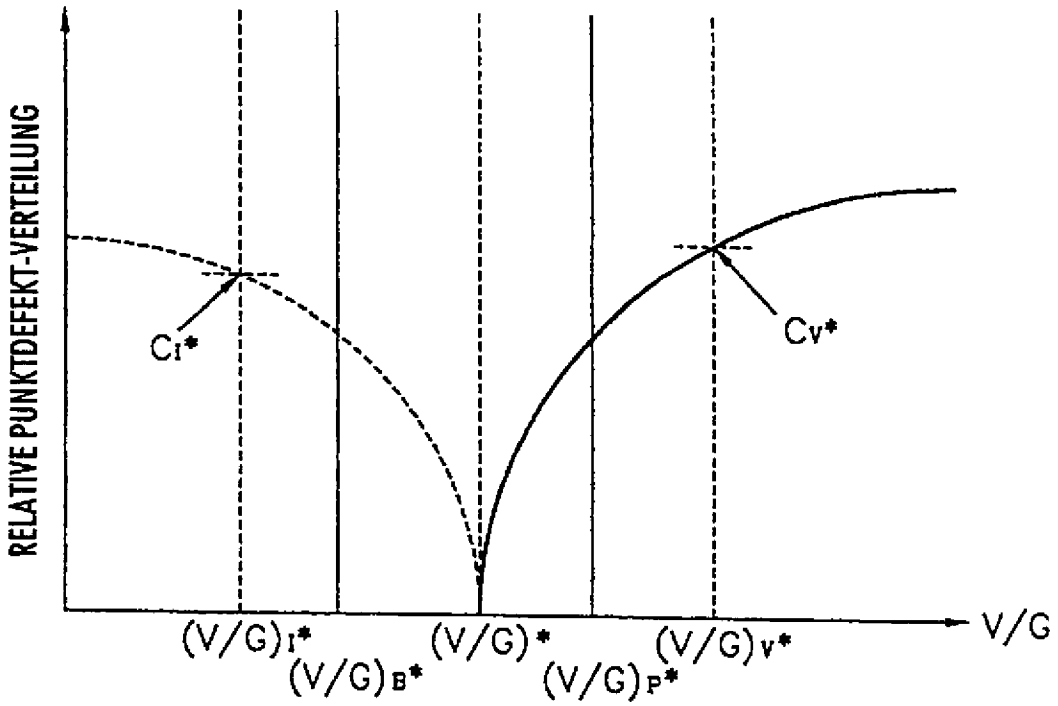


FIG. 27 (STAND DER TECHNIK)

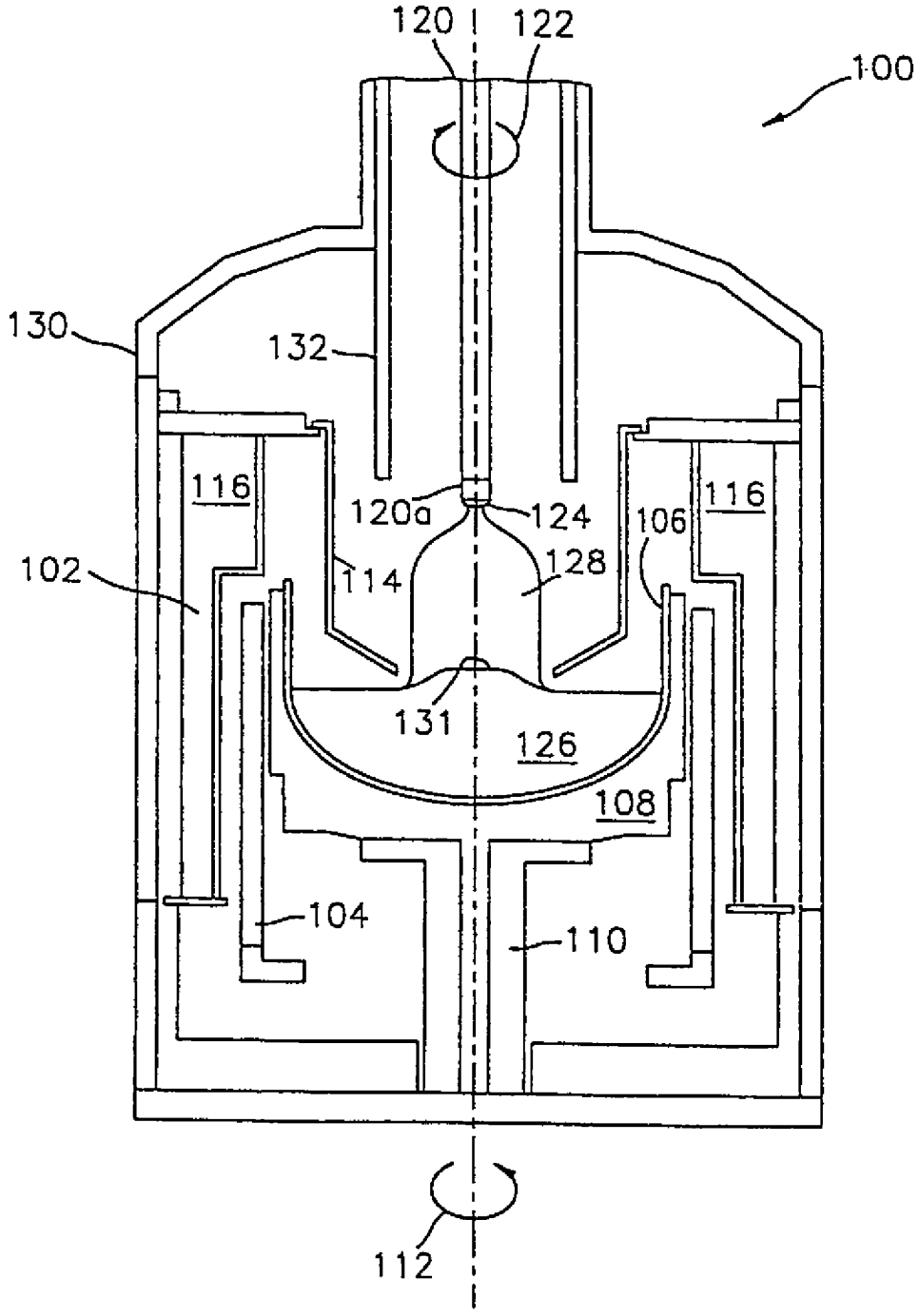


FIG. 28

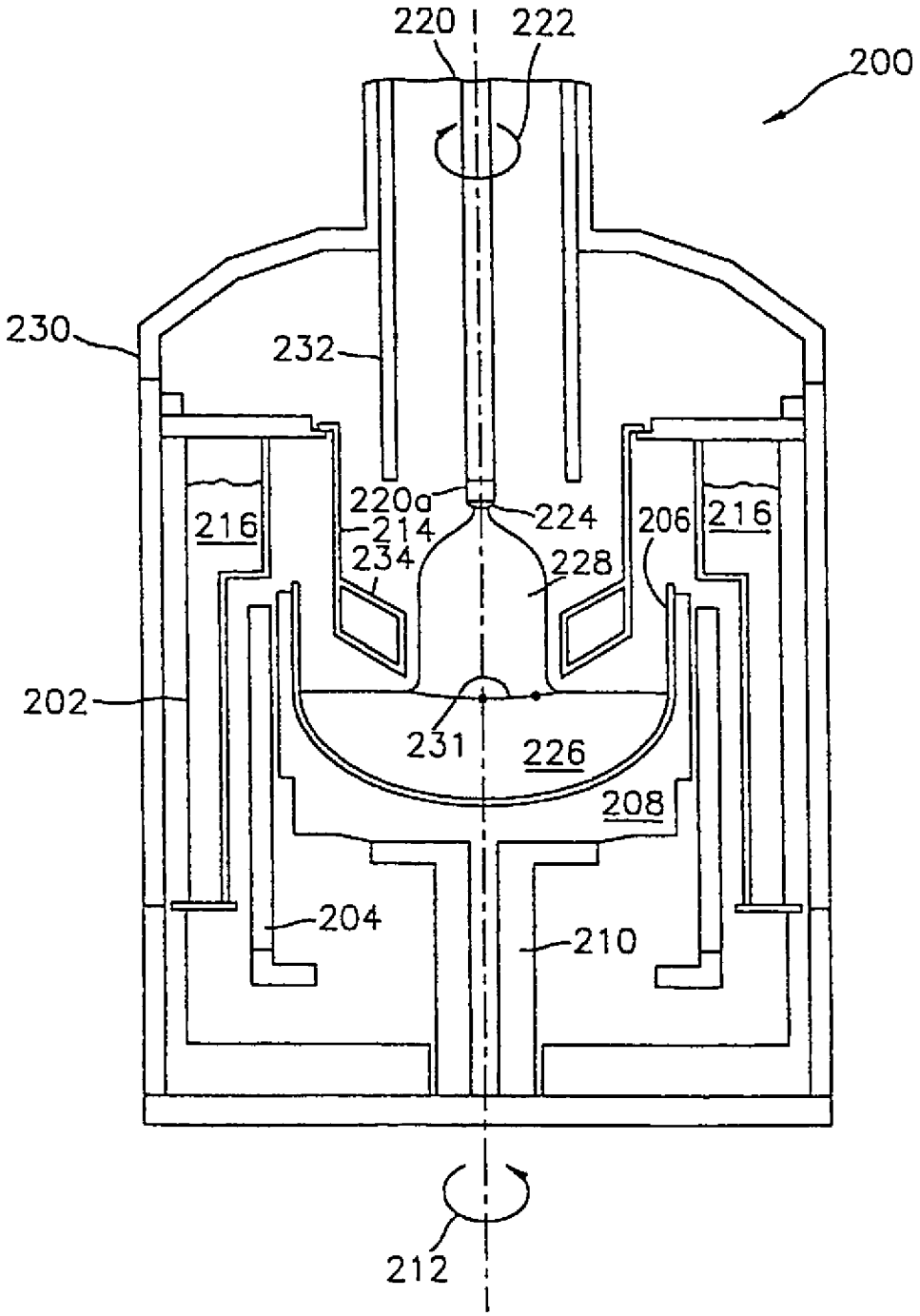

220
222
200
230
232
216
220a
214
234
224
206
216
228
202
231
226
208
204
210
212

FIG. 29

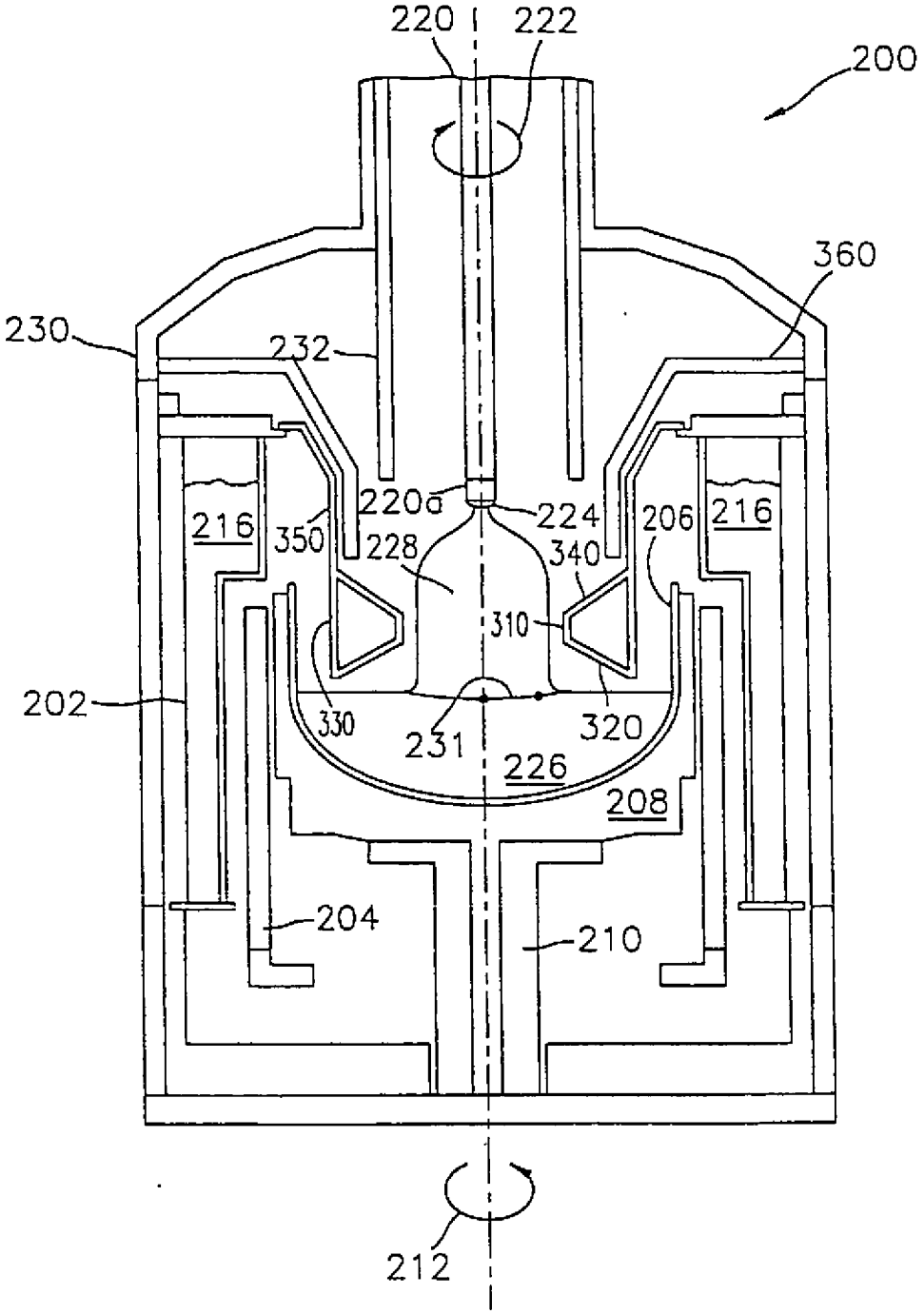

220
222
200
360
230
232
216
350
220a
224
206
216
228
340
310
202
330
231
320
226
208
204
210
212

FIG. 30

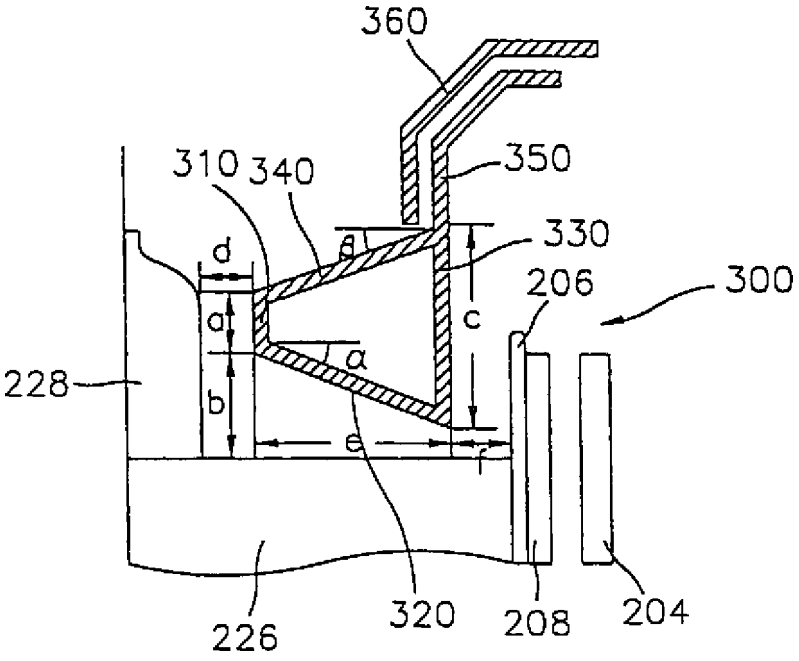


FIG. 31

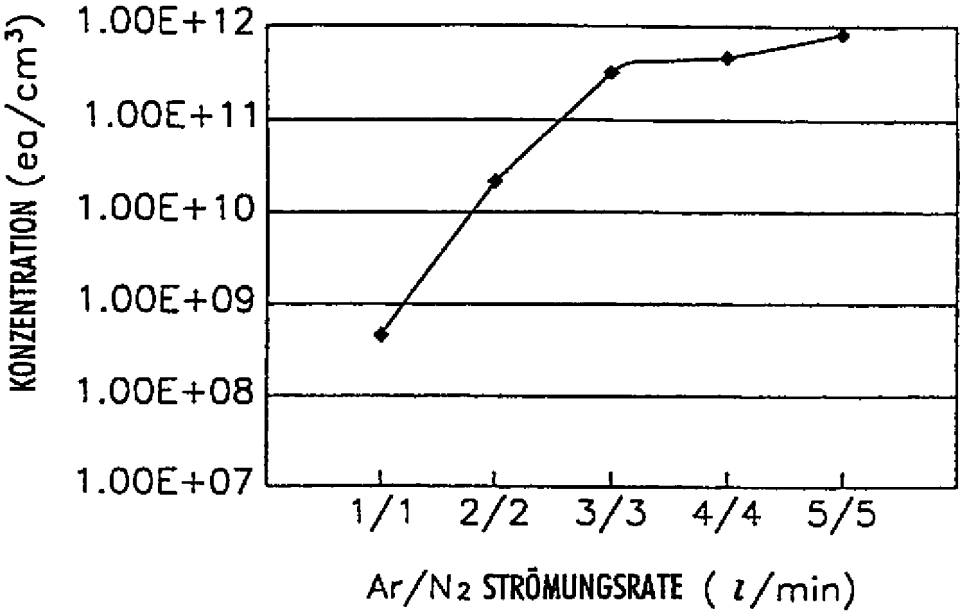

KONZENTRATION (ea/cm³)
1.00E+12
1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
1/1
2/2
3/3
4/4
5/5
Ar/N2 STRÖMUNGSRATE (l/min)

FIG. 32

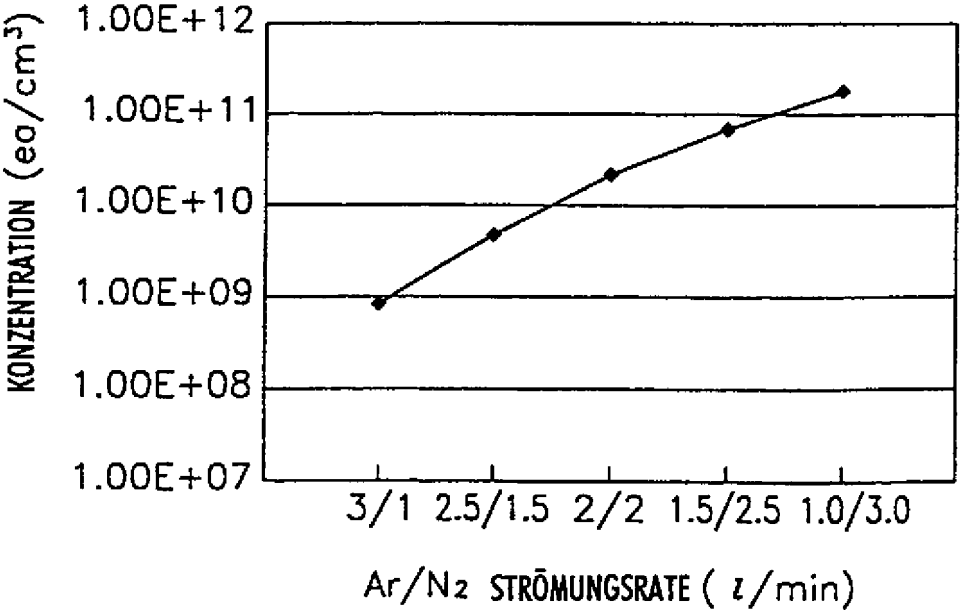

KONZENTRATION (ea/cm³)
1.00E+12
1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
3/1
2.5/1.5
2/2
1.5/2.5
1.0/3.0
Ar/N2 STRÖMUNGSRATE (l/min)

FIG. 33

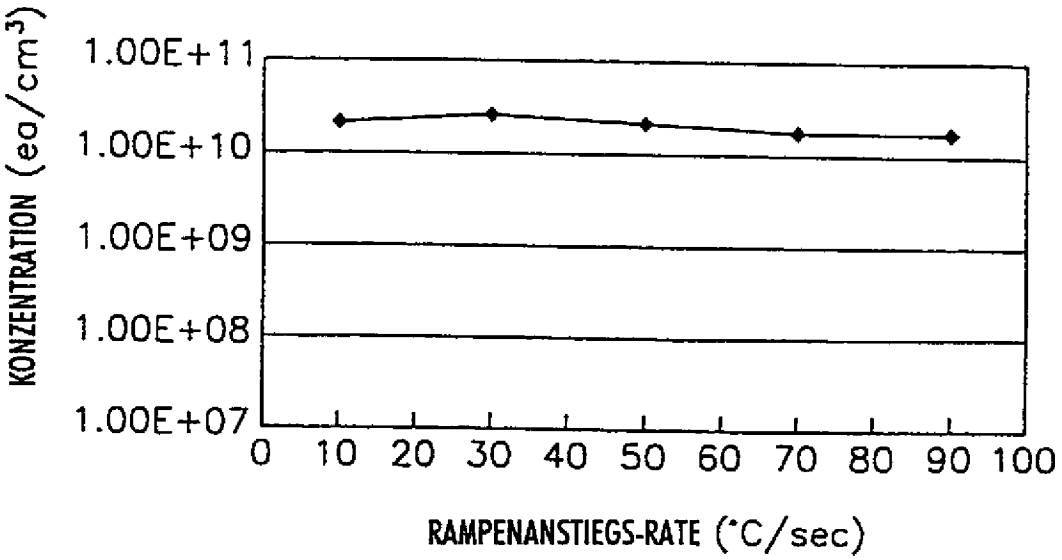

KONZENTRATION (ea/cm³)
1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
RAMPENANSTIEGS-RATE (°C/sec)

FIG. 34

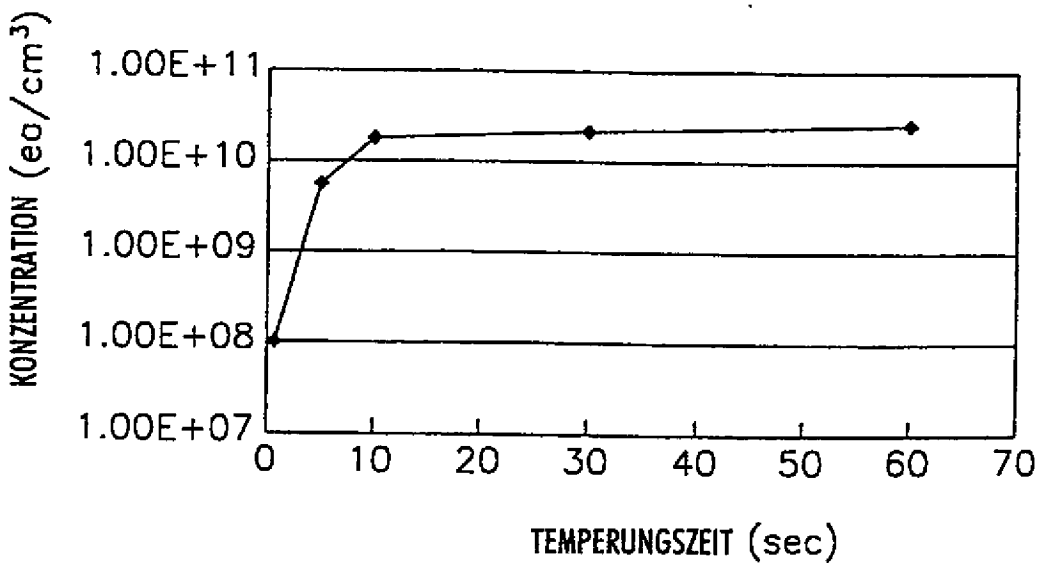

KONZENTRATION (ea/cm³)
1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
0 10 20 30 40 50 60 70
TEMPERUNGSZEIT (sec)

FIG. 35

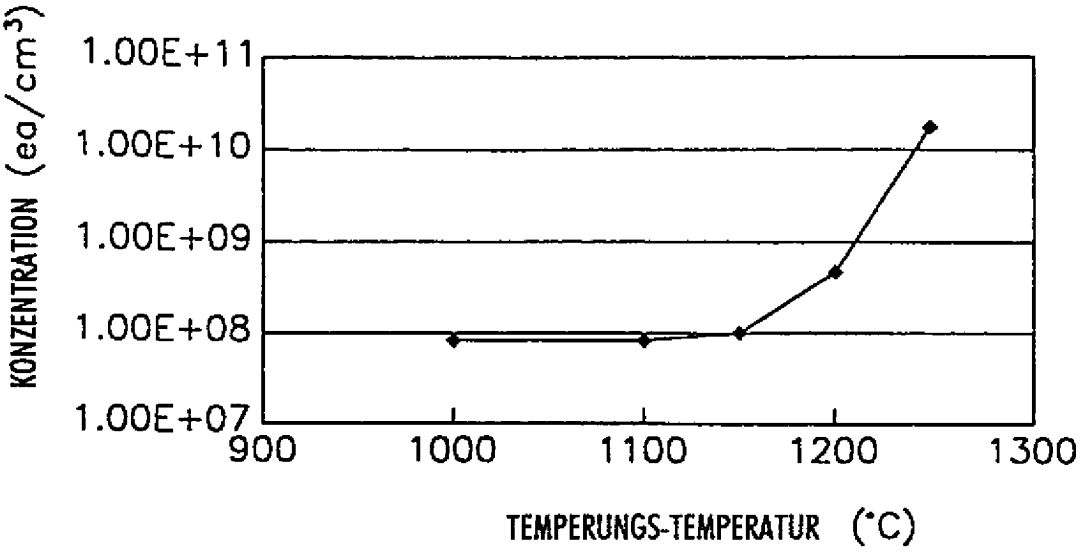
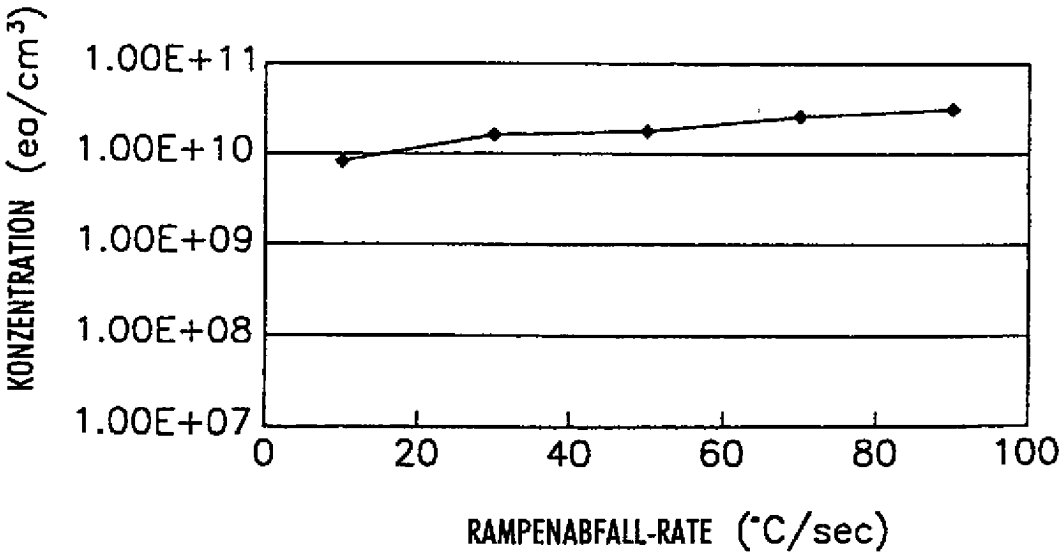

KONZENTRATION (ea/cm³)
1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
900
1000
1100
1200
1300
TEMPERUNGS-TEMPERATUR (°C)

FIG. 36


KONZENTRATION (ea/cm³)
1.00E+11
1.00E+10
1.00E+09
1.00E+08
1.00E+07
0
20
40
60
80
100
RAMPENABFALL-RATE (°C/sec)