



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 38 342 T2** 2009.03.12

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 070 342 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/3065** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 38 342.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/06995**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 916 217.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/050897**

(86) PCT-Anmeldetag: **30.03.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **07.10.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.01.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **12.03.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **12.03.2009**

(30) Unionspriorität:
52997 **31.03.1998** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, DE, FR, IE, IT, NL, SE

(73) Patentinhaber:
Lam Research Corp., Fremont, Calif., US

(72) Erfinder:
KENNARD, Mark A., Pleasanton, CA 94566, US

(74) Vertreter:
Meissner, Bolte & Partner GbR, 80538 München

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON GRÄBEN IN EINER SILIZIUMSCHICHT EINES SUBSTRATS IN EINEM PLASMASYSTEM HOHER PLASMADICHTE**

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

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

Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Fertigung von Vorrichtungen auf Halbleiterbasis. Insbesondere befaßt sich die vorliegende Erfindung mit verbesserten Techniken zum Herstellen eines Grabens in einer Siliziumschicht eines Substrats in einer Plasmaverarbeitungskammer, die eine unabhängige Plasmaerzeugungsquelle und Ionenenergiequelle aufweist.

[0002] Bei der Fertigung von Vorrichtungen auf Halbleiterbasis (z. B. integrierten Schaltungen oder Flachbildschirmen) können manchmal Gräben in einer Siliziumschicht eines Substrats (z. B. eines Silizium-Wafers oder einer Glastafel) gebildet werden. Es ist bekannt, daß solche Gräben in einer Plasmaverarbeitungskammer geätzt werden können, in der ein Plasma verwendet wird, das zum Ätzen des Siliziummaterials durch Öffnungen in einer Maske (z. B. einem Photoresist oder einer harten Maske) hindurch in der Lage ist.

[0003] Zur Vereinfachung der Erläuterung veranschaulicht [Fig. 1](#) einen vereinfachten Schichtenstapel, der eine Maskenschicht **102** beinhaltet, die über einer Siliziumschicht **104** angeordnet ist. Die Maskenschicht **102** kann in Form einer beliebigen geeigneten Maskenschicht vorliegen, wie z. B. eines Photoresists oder einer harten Maske (z. B. aus SiO_2 , Si_3N_4 , Si_xN_y , Oxynitrid und dergleichen). Die Siliziumschicht **104** stellt eine monokristalline Siliziumschicht des Substrats dar und kann auch das eigentliche Substrat bilden (z. B. den Halbleiter-Wafer oder die Glastafel).

[0004] Zur Vereinfachung der Beschreibung sind nur einzelne exemplarische Schichten dargestellt. Wie allgemein bekannt ist, können auch andere Schichten (die z. B. eine Haftsicht, eine Keimschicht, eine Antireflexions-Überzugsschicht oder eine weitere Schicht aufweisen) über, unter oder zwischen den dargestellten Schichten angeordnet sein.

[0005] In der Maskenschicht **102** ist eine exemplarische Öffnung **106** dargestellt, durch die das Ätzplasma hindurchtreten kann, um Material der Siliziumschicht **104** zu entfernen und dadurch den gewünschten Graben zu bilden. Es ist darauf hinzuweisen, daß der Begriff "Graben" im vorliegenden Fall in dem Sinn verwendet wird, daß er auch andere in die Siliziumschicht geätzte Strukturen mitumfaßt, wie z. B. Kontaktlöcher, Durchgänge und dergleichen.

[0006] Im Stand der Technik wird ein Plasmaätzvorgang verwendet, der von einem Ätzgas auf Fluorkohlenwasserstoff-Basis zum Ätzen des Grabens Gebrauch macht. Für Vorrichtungen mit relativ geringer

Dichte sowie für Gräben mit relativ geringen Dimensionsverhältnissen funktioniert die Plasmaätztechnik auf Fluorkohlenwasserstoff-Basis in angemessener Weise.

[0007] Mit zunehmender Dichte der Halbleitervorrichtungen auf dem Substrat und/oder mit zunehmendem Dimensionsverhältnis der Gräben unterliegt die Plasmaätztechnik auf Fluorkohlenwasserstoff-Basis jedoch gewissen Einschränkungen.

[0008] Beispielsweise führt ein Plasmaätzvorgang auf Fluorkohlenwasserstoff-Basis tendenziell zu einer recht geringen Ätzrate, wobei dies in nachteiliger Weise den Durchsatz an Substraten durch die Plasmaverarbeitungskammer vermindert. Somit handelt es sich dabei um einen teureren Ätzvorgang, da eine geringere Anzahl von Substraten pro Zeiteinheit verarbeitet werden kann. Noch wichtiger ist, daß die Plasmaätztechnik auf Fluorkohlenwasserstoff-Basis typischerweise als ziemlich "schmutziges" Verfahren betrachtet wird, d. h. es führt tendenziell zur Entstehung von teilchenförmigen Verunreinigungen, die sich an Innenflächen der Plasmaverarbeitungskammer ansammeln.

[0009] Wenn die Plasmaverarbeitungskammer nicht häufig gereinigt wird, können die angesammelten teilchenförmigen Verunreinigungen abplatzen und auf das in Verarbeitung befindliche Substrat gelangen, wobei dies zu Defekten führt und die Ausbeute vermindert. Allgemein gesagt, es muß die für den Ätzvorgang auf Fluorkohlenwasserstoff-Basis verwendete Plasmaverarbeitungskammer nach der Verarbeitung von 10 bis 20 Wafern gereinigt werden, um sicherzustellen, daß das Ausmaß an teilchenförmigen Verunreinigungen auf einem ausreichend niedrigen Niveau bleibt.

[0010] Ein alternatives chemisches Mittel zur Verwendung beim Ätzen von Gräben in der Siliziumschicht ist SF_6/O_2 . In diesem Zusammenhang ist in Verbindung mit dem Begriff von Plasmaverarbeitungssystemen mit mittlerer Dichte oder geringer Dichte, wie diese hier verwendet werden, klarzustellen, daß sich diese auf Plasmaverarbeitungssysteme beziehen, bei denen die erzeugte Plasmadichte niedriger ist als etwa 10^{11} Ionen/cm³.

[0011] Bei Plasmaverarbeitungskammern mit hoher Plasmadichte (d. h. bei solchen, die ein Plasma mit einer Plasmadichte von höher als etwa 10^{12} Ionen/cm³ erzeugen) hat man bei der Verwendung der chemischen Mittel SF_6/O_2 festgestellt, daß diese kommerziell nicht akzeptable Ätzresultate für die vorstehend genannte Vorrichtung mit hoher Plasmadichte und/oder für Grabenätzungen mit hohem Dimensionsverhältnis führen.

[0012] Damit das Ätzresultat kommerziell akzeptable

bel ist, müssen Kriterien hinsichtlich des Ätzprofils, der Ätzrate, der Maskenselektivität, ARDE (Aspects Ratio Dependent Etching bzw. Ätzen in Abhängigkeit von dem Dimensionsverhältnis, wobei dies die Ungleichheit in den Ätzraten innerhalb von Merkmalen mit unterschiedlichen Merkmalsgrößen betrifft) oder dergleichen für die verwendete Konstruktionsregel erfüllt werden.

[0013] Kommerziell akzeptable Ätzresultate sind wichtig, da sie einen bestimmten Ätzvorgang bei der Produktion von Halbleiterprodukten nutzbar machen, und zwar im Gegensatz zu der bloßen Möglichkeit als akademische Anwendung mit einem Mangel an einigen Ätzkriterien, die einen Prozeß für den Gebrauch bei der Produktion unpraktikabel machen.

[0014] Zur Vereinfachung der Diskussion veranschaulicht [Fig. 2](#) einen Graben **202**, der unter Verwendung von SF_6/O_2 als Ätzgas in einer induktiv gekoppelten Plasmaverarbeitungskammer mit hoher Dichte in die Siliziumschicht **104** geätzt worden ist. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist, kommt es zu einer Maskenhinterschneidung in dem Bereich **204** aufgrund des hohen Ausmaßes von lateralem Ätzen in der Nähe der Öffnung des Grabens **202**. Weiter unten ist eine gewisse Rauheit an der Innenoberfläche des Grabens festzustellen. Man nimmt an, daß die Rauheit in dem Bereich **206** teilweise durch eine unzulängliche Passivierung in diesen Bereichen bedingt sein kann.

[0015] Signifikanter ist jedoch, daß die ARDE bzw. das Ätzen in Abhängigkeit vom Dimensionsverhältnis an dem Substrat besonders streng ist. Beispielsweise zeigt ein Vergleich zwischen der Ätzrate in Gräben von $0,8 \mu\text{m}$ und der Ätzrate bei Gräben von $1,5 \mu\text{m}$, daß die ARDE in dem einen Fall nahezu 100% beträgt (d. h. die Ätzrate in den Gräben mit $1,5 \mu\text{m}$ ist etwa doppelt so schnell wie die Ätzrate bei den Gräben mit $0,8 \mu\text{m}$). Das hohe Ausmaß der ARDE führt bei einigen Gräben auf dem Substrat zu schlechten Ätzresultaten, so daß die Ätztechnik auf der Basis von SF_6/O_2 für die Verwendung in induktiv gekoppelten Plasmaverarbeitungskammern/Plasmaverarbeitungskammern mit hoher Plasmadichte nicht akzeptabel ist.

[0016] In Anbetracht des Vorstehenden sind verbesserte Techniken wünschenswert, um unter Verwendung von Plasmaverarbeitungskammern mit hoher Plasmadichte Gräben in eine Siliziumschicht eines Substrats zu ätzen.

[0017] Das Dokument EP 0 489 407 A2 offenbart einen mit hoher Plasmadichte arbeitenden Plasmaätzvorgang zum Ätzen von Silizium in einem Gasgemisch, das NF_3 und O_2 sowie He enthält.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0018] Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Ätzen eines Grabens in einer monokristallinen Siliziumschicht (**104**), das folgendes aufweist:

- Vorsehen eines Plasmaverarbeitungssystems, das eine Plasmaverarbeitungskammer (**402**) besitzt, wobei das Plasmaverarbeitungssystem eine variable Plasmaerzeugungsquelle (**404**) und eine variable Ionenenergiequelle aufweist, wobei die variable Plasmaerzeugungsquelle so konfiguriert ist, daß sie unabhängig von der variablen Ionenenergiequelle gesteuert wird;
- Einströmen-Lassen eines Ätzgases, das O_2 , Helium und zumindest eines von SF_6 und NF_3 aufweist, in die Plasmaverarbeitungskammer, wobei die Volumenströmungsrate von dem Helium größer als 65% der gesamten Volumenströmungsrate des Ätzgases ist;
- Erregen der variablen Plasmaerzeugungsquelle und der variablen Ionenenergiequelle, um aus dem Ätzgas ein Plasma hoher Dichte zu erzeugen, wobei die Ionendichte des Plasmas höher als 10^{11} Ionen/ cm^3 ist; und
- Verwenden des Plasmas zum Ätzen des Grabens.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0019] Die vorliegende Erfindung ist in den Figuren der Begleitzeichnungen anhand eines Beispiels und nicht als Einschränkung veranschaulicht, wobei ähnliche Elemente mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind; darin zeigen:

[0020] [Fig. 1](#) einen vereinfachten Schichtenstapel zur Vereinfachung der Diskussion, wobei dieser eine Siliziumschicht und eine Maskenschicht beinhaltet, die zum Ätzen eines Grabens in der Siliziumschicht verwendet werden;

[0021] [Fig. 2](#) eine Darstellung eines Grabens, der in der Siliziumschicht unter Verwendung von SF_6/O_2 als Ätzgas in einer in induktiv gekoppelten Plasmaverarbeitungskammer mit hoher Plasmadichte geätzt worden ist;

[0022] [Fig. 3](#) eine Darstellung eines Grabens, der durch Öffnungen in der harten Maskenschicht in einem Plasmaverarbeitungssystem mit geringer Dichte vom Typ mit parallelen Platten in die Siliziumschicht geätzt worden ist;

[0023] [Fig. 4](#) eine vereinfachte schematische Darstellung des Plasmareaktors vom Typ TCP^{WZ} 9400 SE unter Veranschaulichung einer Plasmaverarbeitungskammer, die zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung geeignet ist; und

[0024] [Fig. 5](#) eine Darstellung der Verfahrensschrit-

te gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, die zum Bilden eines Grabens durch eine Siliziumschicht eines Substrats in einer Plasmaverarbeitungskammer mit hoher Plasmadichte verwendet werden und die ein Helium/O₂/kohlenstoffloses fluorhaltiges Gas als Ätzgas verwenden.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

[0025] Die vorliegende Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf einige ihrer bevorzugten Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Begleitzeichnungen ausführlich beschrieben. In der nachfolgenden Beschreibung sind zahlreiche spezielle Details angeführt, um ein gründliches Verständnis der vorliegenden Erfindung zu schaffen. Für den Fachmann versteht es sich jedoch, daß die vorliegende Erfindung auch ohne einige oder alle dieser speziellen Details ausgeführt werden kann. Andererseits werden allgemein bekannte Verfahrensschritte und/oder Strukturen nicht ausführlich beschrieben, um die vorliegende Erfindung nicht unnötig zu verschleiern.

[0026] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird Helium mit einer relativen hohen Strömungsrate einem kohlenstofflosen Mittel auf der Basis von Sauerstoff/Fluor zugesetzt, um einen Grabenätzvorgang in einer Plasmakammer mit hoher Dichte zu ermöglichen. Insbesondere wird dem O₂/SF₆- (oder NF₃-)Mittel eine relativ hohe Strömung von Helium (z. B. höher als 65% des Gesamtströmungsvolumens) zugesetzt, um einen Grabenätzvorgang in einer Plasmakammer mit hoher Dichte zu ermöglichen.

[0027] Das Mittel auf der Basis von Sauerstoff/Fluor mit der hohen Heliumströmung wird in einer Plasmaverarbeitungskammer mit hoher Plasmadichte verwendet, die in der Lage ist, die Plasmaquelle und die Ionenenergiequelle separat zu steuern. Bei einer derartigen Verwendung ist festzustellen, daß Maskenselektivität, ARDE, Ätzrate und Teilchenmaterial-Verunreinigung im Vergleich zu den Ätztechniken des Standes der Technik stark verbessert sind, die das Mittel auf der Basis von Fluorkohlenwasserstoff oder SF₆/O₂ (ohne die hohe Strömung von Helium) verwenden.

[0028] Es besteht zwar keine Absicht, sich an eine Theorie zu binden, doch ist man der Ansicht, daß die Zufuhr eines relativ hohen Strömungsvolumens von Helium die Direktionalität des Ätzvorgangs durch Erhöhen der Ionenenergie verbessert, so daß die vertikale Ätzrate in den Graben hinein gesteigert wird und auch die Maskenhinterschneidung vermindert wird. Man ist auch der Ansicht, daß die Zufuhr der hohen Strömung von Helium die Ionenenergie des Plasmas erhöht, da die Ionisierungsenergie von Helium an sich typischerweise viel höher ist als die Ionisierungs-

energie von SF₆ oder O₂.

[0029] Wenn ein großes Volumen an Helium zugeführt wird (z. B. größer als 65% der Gesamtvolumenströmung), so werden das verfügbare SF₆ und O₂ in der Kammer im wesentlichen vollständig ionisiert, bevor das Helium ionisiert wird. Ohne Erzeugung von zusätzlichen Elektronen und Ionen werden die Potentiale an den Elektroden erhöht, und dadurch steigen die Spitzenspannung sowie die Ionenenergie des Plasmas innerhalb der Plasmaverarbeitungskammer an.

[0030] Die höhere Ionenenergie des Plasmas aufgrund der hohen Strömung von Helium bewirkt zusammen mit der Ionenenergie, die durch die Vorspannungsenergie des Plasmaverarbeitungssystems zugeführt wird, eine Verbesserung der Direktionalität des Ätzvorgangs.

[0031] Wie bereits erwähnt, wird die Erfindung in einer Plasmaverarbeitungskammer mit hoher Plasmadichte verwendet, wobei die Plasmaerzeugungsquelle und die Ionenenergiequelle in voneinander unabhängiger Weise gesteuert werden können. Die Möglichkeit zum unabhängigen Steuern der Ionenenergiequelle ermöglicht eine Optimierung des Ätzvorgangs unabhängig von der Ionendichte, so daß der gesteigerten Ionenenergie des Plasmas (die zum Teil durch die hohe Strömung von Helium bedingt ist) Rechnung getragen werden kann.

[0032] Ohne die Verwendung der vorliegend offenbarten hohen Strömung von Helium hat sich auch bei dem SF₆/O₂ gezeigt, daß dies zu kommerziell nicht akzeptablen Ätzresultaten führt, wenn es in einem Plasmaverarbeitungssystem mit niedriger Plasmadichte verwendet wird. Zum Beispiel berichteten Legtenberg und Sayau von grober Maskenhinterschneidung, negativ geneigtem Profil, Mikromaskierung, geringer Ätzrate, unerwünschter Graben-Formgebung oder beliebigen Kombinationen hiervon. Siehe z. B. Anisotropic Reactive Ion Etching of Silicon Using SF₆/O₂/CHF₃, R. Legtenberg, H. Hansen, M. de Boer, M. Elwenspoek, J. Electrochem. Soc., Band 142, Nr. 6, (1995) und Reactive Ion Etching of Silicon Trenches Using SF₆/O₂ Gas Mixtures, T. Syau, B. Baliga, R. Hamaker, J. Electrochem. Soc., Band 138, Nr. 10, (1991).

[0033] Überraschenderweise führt die Zugabe von Helium zu dem O₂/SF₆ selbst bei einer relativ hohen Strömungsrate nicht zu den wünschenswerten Ätzresultaten, wenn dieses in einem Plasmaverarbeitungssystem mit niedriger Dichte verwendet wird. Zur Erleichterung der Diskussion veranschaulicht [Fig. 3](#) einen Graben **302**, der bei einem Plasmaverarbeitungssystem mit niedriger Dichte vom Typ mit parallelen Platten durch Öffnungen in einer harten Maskenschicht hindurch in die Siliziumschicht **104** geätzt

ist. In dem Beispiel gemäß [Fig. 3](#) beträgt die Ionenergie in der Plasmaverarbeitungskammer während des Ätzvorgangs etwa 10^{10} bis 10^{11} Ionen/cm³.

[0034] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt, ist bei dem Versuch der Verwendung von Helium/O₂/SF₆ in einem Plasmaverarbeitungssystem mit geringer Dichte vom Typ mit parallelen Platten eine starke Maskenhinterschneidung in dem Bereich **306** festzustellen. Außerdem hat das Ätzprofil als charakteristisches Merkmal eine geneigte Seitenwand **308**, wobei dies zu einer inakzeptablen Grabenform führt. Auch scheint beträchtliche Rauheit am Boden des Grabens **302** vorhanden zu sein, wobei Mikrogräben in dem Eckbereich zwischen der geneigten Seitenwand **308** und dem Boden des Grabens festzustellen sind.

[0035] Aus Gründen, die den Erfindern nicht vollständig nachvollziehbar sind, scheint das Mittel auf der Basis von Sauerstoff/Fluor mit hoher Heliumströmung kommerziell akzeptable Ätzresultate nur in einem Plasmaverarbeitungssystem mit hoher Dichte zu erreichen, und zwar vorzugsweise in einem Plasmaverarbeitungssystem mit hoher Dichte, bei dem eine unabhängige Steuerung der Plasmaerzeugungsquelle und der Ionenenergiequelle stattfindet.

[0036] In ebenfalls überraschender Weise hat es sich gezeigt, daß beim Ersetzen des Heliums durch ein anderes Edelgas das Ätzresultat schlechter wird. Daher ist man der Ansicht, daß die spezifische Ionisationsenergie von Helium in Kombination mit dessen verdünnender Wirkung und der Verwendung eines Plasmaverarbeitungssystems mit hoher Dichte von kritischer Bedeutung bei der Herstellung von kommerziell akzeptablen Ätzresultaten beim Ätzen von Gräben in Plasmaverarbeitungskammern mit hoher Dichte ist.

[0037] Es wird erwartet, daß die verbesserte Grabenätztechnik gemäß der vorliegenden Erfindung in jedem beliebigen geeigneten Plasmaverarbeitungssystem mit hoher Dichte (d. h. Systemen mit einer Ionendichte von mehr als etwa 10^{12} Ionen/cm³) ausgeführt werden kann, und zwar einschließlich solcher Systeme, die zum Trockenätzen, Plasmaätzen, reaktives Ionenätzen (RIE), magnetisch unterstützten reaktiven Ionenätzen (MERIE) oder dergleichen ausgelegt sind. Dies gilt unabhängig davon, ob dem Plasma Energie durch Elektronenzyklotron-Resonanzquellen (ECR-Quellen), Mikrowellen-Plasmaquellen, durch induktiv gekoppelte HF-Quellen, wie Wendeln, wendelförmige Resonatoren und Induktionsspulen (planar oder nicht planar) zugeführt wird.

[0038] Plasmaverarbeitungssysteme vom Typ ECR und TCP (transformator-gekoppeltes Plasma) sind unter anderem erhältlich von Lam Research Corporation of Fremont, Kalifornien. Wie schon erwähnt, wird die Erfindung in einem Plasmaverarbeitungssystem

ausgeführt, das die Steuerung der Plasmaerzeugungsquelle unabhängig von der Ionenenergiequelle zuläßt.

[0039] Bei einer Ausführungsform wird die vorliegende Erfindung in einem Niederdruck-Plasmareaktor mit hoher Dichte vom Typ TCP™ 9400 SE ausgeführt, der von der Lam Research Corporation erhältlich ist, wobei jedoch ebensogut auch beliebige andere herkömmliche und geeignete Plasmaverarbeitungssysteme verwendet werden können, wie dies bereits erwähnt wurde. [Fig. 4](#) veranschaulicht eine vereinfachte schematische Darstellung des Plasmareaktors **400** vom Typ TCP™ 9400 SE, der eine Plasmaverarbeitungskammer **402** aufweist.

[0040] Über der Kammer **402** ist eine Elektrode **404** angeordnet, die bei dem Beispiel gemäß [Fig. 4](#) durch eine Induktionsspule gebildet ist. Die Spule **404** stellt die Plasmaerzeugungsquelle dar und wird von einem HF-Generator **406** über ein geeignetes Netzwerk (in [Fig. 4](#) nicht gezeigt) gespeist. Die der Spule **404** zugeführte HF-Energie kann eine HF-Frequenz von beispielsweise 13,56 MHz aufweisen.

[0041] Im Inneren der Kammer **402** befindet sich eine Gasverteilungsplatte **40**, die vorzugsweise eine Vielzahl von Löchern zum Verteilen von gasförmigen Quellmaterialien, z. B. Ätzgasen, in den HF-induzierten Plasmabereich zwischen sich selbst und einem Substrat **410** aufweist. Die gasförmigen Quellmaterialien können auch aus Öffnungen freigesetzt werden, die in die Wände der eigentlichen Kammer eingebaut sind, oder von einer anderen Gasverteilungsanordnung, wie z. B. einer Duschkopfanzordnung oberhalb von dem Substrat.

[0042] Das Substrat **410** wird in die Kammer **402** eingebracht und in einer Aufnahmeeinrichtung **412** plaziert, die als untere Elektrode wirkt und vorzugsweise durch einen Hochfrequenz-(HF-)Generator **414** (ebenfalls typischerweise über ein passendes Netzwerk) vorgespannt wird. Die von dem HF-Generator **414** zugeführte HF-Energie steuert zum Teil die Ionenergie des Plasmas und kann eine HF-Frequenz von z. B. 13,56 MHz aufweisen, wobei jedoch auch andere HF-Frequenzen verwendet werden können.

[0043] Die Aufnahmeeinrichtung **412** kann in Form eines beliebigen geeigneten Werkstückhalters vorliegen und kann z. B. als elektrostatische Aufnahmeeinrichtung (ESC) als mechanische Aufnahmeeinrichtung, als Vakuum-Aufnahmeeinrichtung und dergleichen vorgesehen sein. Während des Plasmaätzvorgangs wird der Druck innerhalb der Kammer **402** vorzugsweise niedrig gehalten, bei einer Ausführungsform z. B. zwischen etwa 30 und 60 mTorr (1 mTorr = 0,133 Pa).

[0044] **Fig. 5** veranschaulicht gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung die verbesserte Grabenätztechnik, wobei ein chemisches Mittel auf der Basis von Sauerstoff/Fluor mit hoher Heliumströmung verwendet wird, um Gräben in einer Plasmaverarbeitungskammer mit hoher Dichte in eine Siliziumschicht zu ätzen.

[0045] In einem Schritt **502** wird ein Plasmaverarbeitungssystem mit hoher Dichte bereitgestellt, das eine Plasmaverarbeitungskammer aufweist. Wie bereits erwähnt, sind unter Plasmaverarbeitungssystemen mit hoher Dichte Plasmaverarbeitungssysteme zu verstehen, in denen ein Plasma mit einer Ionen-dichte von höher als etwa $10^{11}/10^{12}$ Ionen/cm³ für den Ätzborgang erzeugt wird. Im Gegensatz dazu besteht bei Plasmaverarbeitungssystemen mit mittlerer oder geringer Dichte die Tendenz, daß ein Plasma erzeugt wird, das eine Plasmadichte von unter etwa 10^{11} Ionen/cm³ aufweist.

[0046] Vorzugsweise ermöglicht das Plasmaverarbeitungssystem mit hoher Dichte gemäß dem Schritt **502** die unabhängige Steuerung der Plasmaerzeugungsquelle und der Ionenenergiequelle, um dadurch die Plasmadichte und die Plasmaionenenergie in voneinander unabhängiger Weise zu steuern. In einem Schritt **504** läßt man ein Ätzgas, das O₂, Helium und ein kohlenstoffloses fluorhaltiges Gas (d. h. ein fluorhaltiges Gas, das zusätzlich keinen Kohlenstoff enthält) in die Plasmaverarbeitungskammer einströmen. Bei dem kohlenstofflosen, fluorhaltigen Gas im Schritt **504** handelt es sich um SF₆ und/oder NF₃.

[0047] In einem Schritt **506** wird ein Plasma von dem in dem Schritt **504** bereitgestellten Ätzgas erzeugt. Das Ätzgas wird dann zum Ätzen von Gräben in die Siliziumschicht des Substrats verwendet (Schritt **508**). Wie bereits erwähnt worden ist, handelt es sich bei der Siliziumschicht um eine monokristalline Siliziumschicht.

[0048] Der Ätzborgang wird beim Erreichen der gewünschten Grabentiefe beendet, und zwar entweder nach einer vorbestimmten Zeitdauer oder durch Überwachen der Grabentiefe während des Ätzborgangs.

[0049] In dem nachfolgenden Beispiel wird davon ausgegangen, daß die im folgenden genannten Parameter zum Ätzen eines monokristallinen Silizium-Wafers von 6 Inch geeignet sein können, auf dem sich eine harte Maske mit einer Dicke von etwa 0,5 µm befindet. Die im folgenden beschriebenen, ungefähren Parameter sind ferner für diesen exemplarischen Ätzborgang in dem vorgenannten Plasmaverarbeitungssystem vom Typ TCP™ 9400 SE mit einem Gasring-Dielektrikum geeignet. Es ist jedoch zu beachten, daß die Erfindung nicht hierauf beschränkt ist und daß eine Optimierung der vorstehend offen-

barten Parameter und Techniken in Anpassung an die speziellen Erfordernisse eines speziellen Plasmaverarbeitungssystems und/oder Substrats im Umfang der Kenntnis der Fachleute liegt.

[0050] Bei diesem Beispiel haben die zu ätzenden Gräben eine Grabenöffnung von etwa 0,15 µm bis 2 µm und werden auf eine Tiefe von etwa 1 bis 15 µm geätzt. Der Ätzborgang erfolgt mit einem relativen hohen Strömungsvolumen von Helium in einer Plasmaverarbeitungskammer mit hoher Dichte, die eine unabhängige Steuerung der Plasmaerzeugungsquelle und der Ionenenergiequelle ermöglicht.

[0051] Bei dem exemplarischen Ätzborgang liegt das Verhältnis der volumenmäßigen Heliumströmung zu dem Gesamtströmungsvolumen bei 65% bis 90%, wobei es in weiter bevorzugter Weise bei etwa 70% bis etwa 85% liegt und vorzugsweise etwa 75% beträgt. Das Verhältnis der SF₆-Strömung zu der O₂-Strömung ist ein weiterer wichtiger Parameter und liegt bei etwa 0,8 bis etwa 2,0, in bevorzugter Weise bei etwa 1 bis etwa 1,6 und vorzugsweise bei etwa 1,3.

[0052] Das Verhältnis der Sauerstoffströmung zu dem Gesamtströmungsvolumen liegt bei etwa 5% bis etwa 20%, und liegt in bevorzugter Weise bei etwa 8% bis etwa 15% und vorzugsweise bei etwa 10%. Das Verhältnis der SF₆-Strömung zu dem Gesamtströmungsvolumen liegt bei etwa 8% bis etwa 30% und liegt in bevorzugter Weise bei etwa 10% bis etwa 20% und vorzugsweise bei etwa 15%.

[0053] Bei diesem exemplarischen Ätzborgang beträgt die Gesamtströmungsrate in Standard-Kubikzentimeter pro Minute (sccm) etwa 40 sccm bis etwa 600 sccm, in weiter bevorzugter Weise etwa 60 sccm bis etwa 300 sccm sowie vorzugsweise etwa 100 sccm. Ein Fachmann wird jedoch erkennen, daß die Gesamtströmung von der Größe des zu verarbeitenden Substrats sowie von der Kammerausbildung und anderen gegeneinander abzuwägenden Überlegungen abhängig ist. Die untere Leistung beträgt etwa 10 Watt bis etwa 50 Watt, in weiter bevorzugter Weise etwa 15 Watt bis etwa 40 Watt und vorzugsweise etwa 30 Watt.

[0054] Der Druck im Inneren der Plasmaverarbeitungskammer liegt bei etwa 30 Millitorr (mT) bis etwa 120 mT, in weiter bevorzugter Weise etwa 40 mT bis etwa 90 mT und vorzugsweise etwa 60 mT. Die Temperatur der Aufnahmeeinrichtung liegt zwischen etwa -30°C und etwa 80°C, in weiter bevorzugter Weise zwischen etwa 0°C und etwa 50°C sowie vorzugsweise bei etwa 20°C.

[0055] Es ist darauf hinzuweisen, daß die Temperatur und die O₂-Strömung gegeneinander ausgeglichen werden können, da eine Verringerung der Tem-

peratur die Passivierungsrate tendenziell erhöht, wobei dies durch Vermindern der Sauerstoffströmung kompensiert werden kann, so daß es nicht aufgrund eines übermäßigen Ausmaßes an Passivierung am Boden des Grabens zu einem Stillsetzer des Ätzvorgangs kommt.

[0056] Die obere Leistung (TCP) beträgt etwa 300 Watt bis etwa 800 Watt, in weiter bevorzugter Weise etwa 400 Watt bis etwa 600 Watt und vorzugsweise etwa 500 Watt. Die Dauer des Ätzvorgangs variiert in Abhängigkeit von der Grabentiefe. Für Gräben mit einer Tiefe von z. B. etwa 15 µm kann der Ätzvorgang bei einem Beispiel bis zu 8 Minuten dauern.

[0057] Es ist festzustellen, daß die Ätzrate beträchtlich verbessert wird, wenn das Mittel auf Sauerstoff/Fluor-Basis mit der hohen Strömung von Helium gemäß der Erfindung zum Ätzen von Gräben in einer Siliziumschicht in einem Plasmaverarbeitungssystem mit hoher Dichte verwendet wird. Beispielsweise wurden Ätzraten zwischen 1,5 und 3 µm/min bei einigen exemplarischen Ätzvorgängen festgestellt. Im Gegensatz dazu ergeben Verfahren des Standes der Technik Ätzraten von nur etwa 1 µm/min. Auch ist festzustellen, daß das Ätzprofil und das Ausmaß der Maskenhinterschneidung innerhalb von kommerziell akzeptablen Bereichen für die Herstellung von integrierten Schaltungen auf einer Produktionsbasis liegen.

[0058] Die Dimensionsverhältnis-Abhängigkeit der Ätzrate ist ebenfalls beträchtlich vermindert. Durch die zusätzliche Verwendung der hohen Heliumströmung ist bei einigen exemplarischen Ätzvorgängen festzustellen, daß die ARDE etwa 25% für Grabengrößen von 1 µm und 0,5 µm (im Vergleich zu etwa 100% beim Stand der Technik) beträgt. Es wird erwartet, daß die erfindungsgemäße Ätztechnik zum Ätzen von modernen integrierten Schaltungen mit hoher Dichte geeignet ist, d. h. Schaltungen, die Gräben mit einer Tiefe von bis zu 8 µm und einem Dimensionsverhältnis von etwa 30:1 (bei Verwendung einer Maske von 0,25 µm) verwenden.

[0059] Es ist ins Auge gefaßt, daß die Erfindung auch zum Ätzen von Gräben verwendet werden kann, die eine Öffnungsabmessung von nur 0,15 µm oder noch kleiner sowie Dimensionsverhältnisse von 1:1 bis etwa 40:1 aufweisen, die Erfindung jedoch sogar zum Ätzen von Gräben mit noch höherem Dimensionsverhältnis (z. B. etwa 100:1 oder größer) verwendet werden kann.

[0060] Noch wichtiger ist darauf hinzuweisen, daß die hohe Ätzrate und andere kommerziell akzeptable Ätzresultate erzielt wurden, ohne daß chemische Mittel auf Fluorkohlenwasserstoff-Basis eingesetzt werden mußten, wobei es sich, wie vorstehend erwähnt, um einen ziemlich "schmutzigen" Prozeß handelt, der

eine häufige Reinigung der Plasmaverarbeitungskammer erforderlich macht. Mit einer geringeren Anzahl von Kammerreinigungen wird der Substrat-Durchsatz erhöht, und dadurch werden wiederum die Produktionskosten der resultierenden Vorrichtungen auf Halbleiterbasis geringer.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ätzen eines Grabens in einer monokristallinen Siliziumschicht (**104**), das folgendes aufweist:

– Vorsehen eines Plasmaverarbeitungssystems, das eine Plasmaverarbeitungskammer (**402**) besitzt, wobei das Plasmaverarbeitungssystem eine variable Plasmaerzeugungsquelle (**404**) und eine variable Ionenenergiequelle aufweist, wobei die variable Plasmaerzeugungsquelle so konfiguriert ist, daß sie unabhängig von der variablen Ionenenergiequelle gesteuert wird;

– Einströmen-Lassen eines Ätzgases, das O₂, Helium und zumindest eines von SF₆ und NF₃ aufweist, in die Plasmaverarbeitungskammer, wobei die Volumenströmungsrate von dem Helium größer als 65% der gesamten Volumenströmungsrate des Ätzgases ist;

– Erregen der variablen Plasmaerzeugungsquelle und der variablen Ionenenergiequelle, um aus dem Ätzgas ein Plasma hoher Dichte zu erzeugen, wobei die Ionendichte des Plasmas höher als 10¹¹ Ionen/cm³ ist; und

– Verwenden des Plasmas zum Ätzen des Grabens.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die variable Plasmaerzeugungsquelle eine induktive Quelle ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die induktive Quelle eine Spule ist, wobei die Spule so konfiguriert ist, daß sie mit dem Plasma induktiv gekoppelt ist, wenn sie mit HF-Energie versorgt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Ionendichte des Plasmas größer ist als etwa 10¹² Ionen/cm³.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Strömungsrate des Heliums zwischen etwa 70% und etwa 85% der gesamten Strömungsrate des Ätzquellgases liegt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die variable Plasmaerzeugungsquelle eine Elektronenzyklotron-Resonanzquelle ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die variable Ionenenergiequelle ein HF-Generator ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis der Strömung von

SF₆ zu der Strömung von O₂ zwischen etwa 0,8 und etwa 2,0 liegt.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

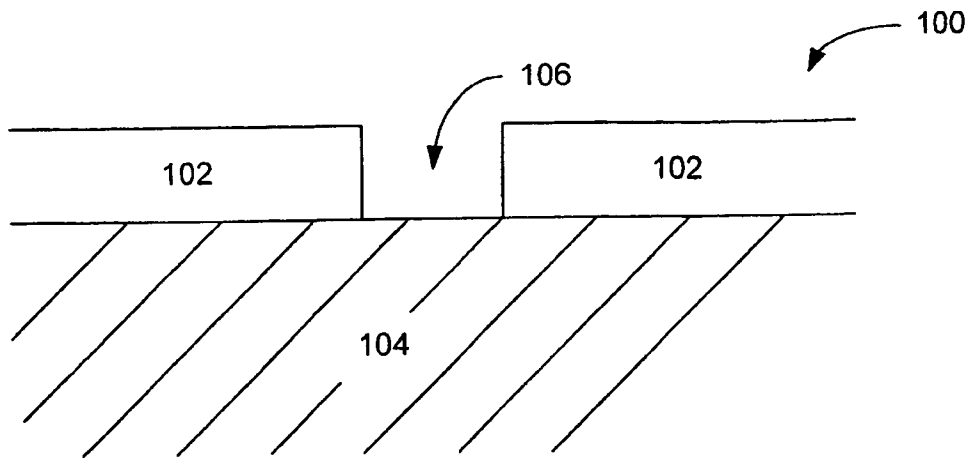


FIG. 1

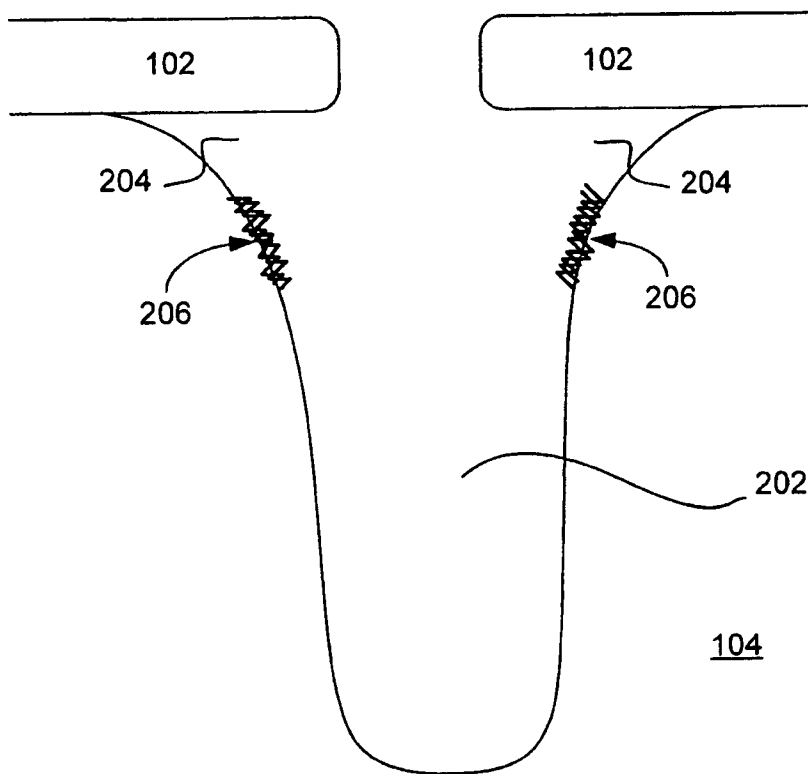


FIG. 2

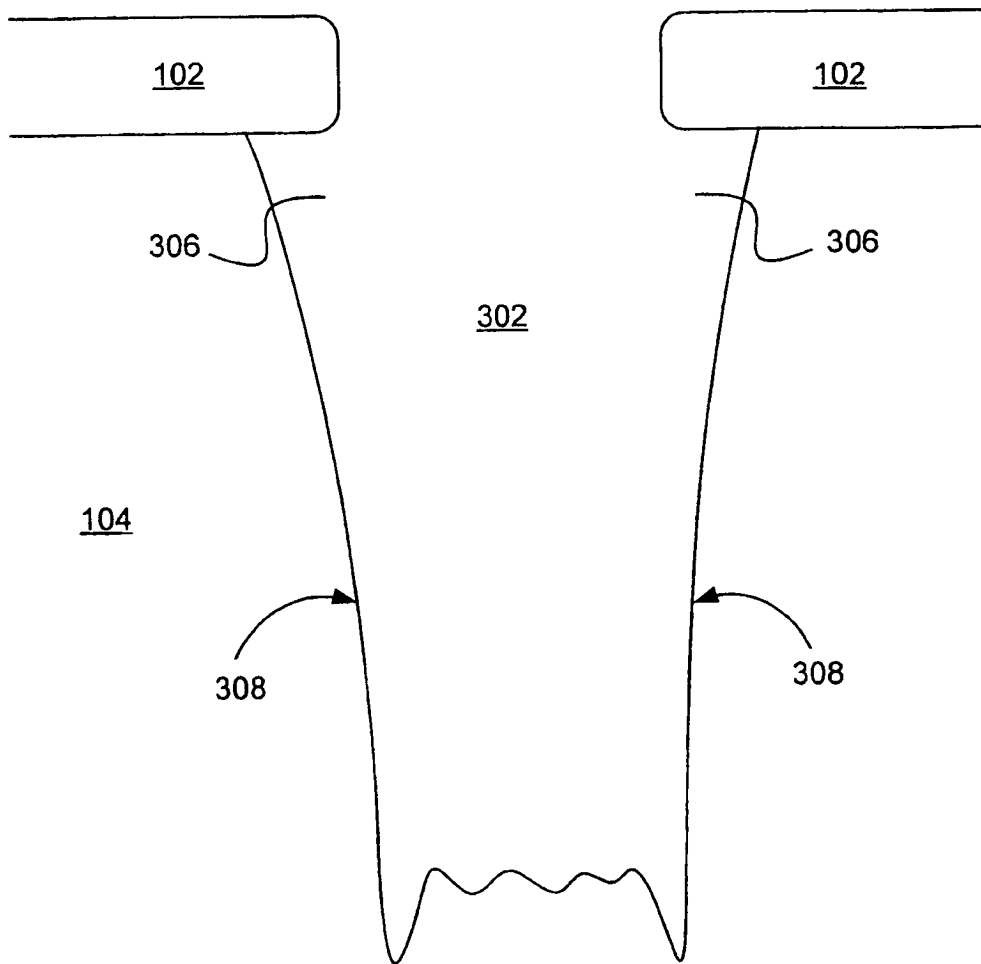


FIG. 3

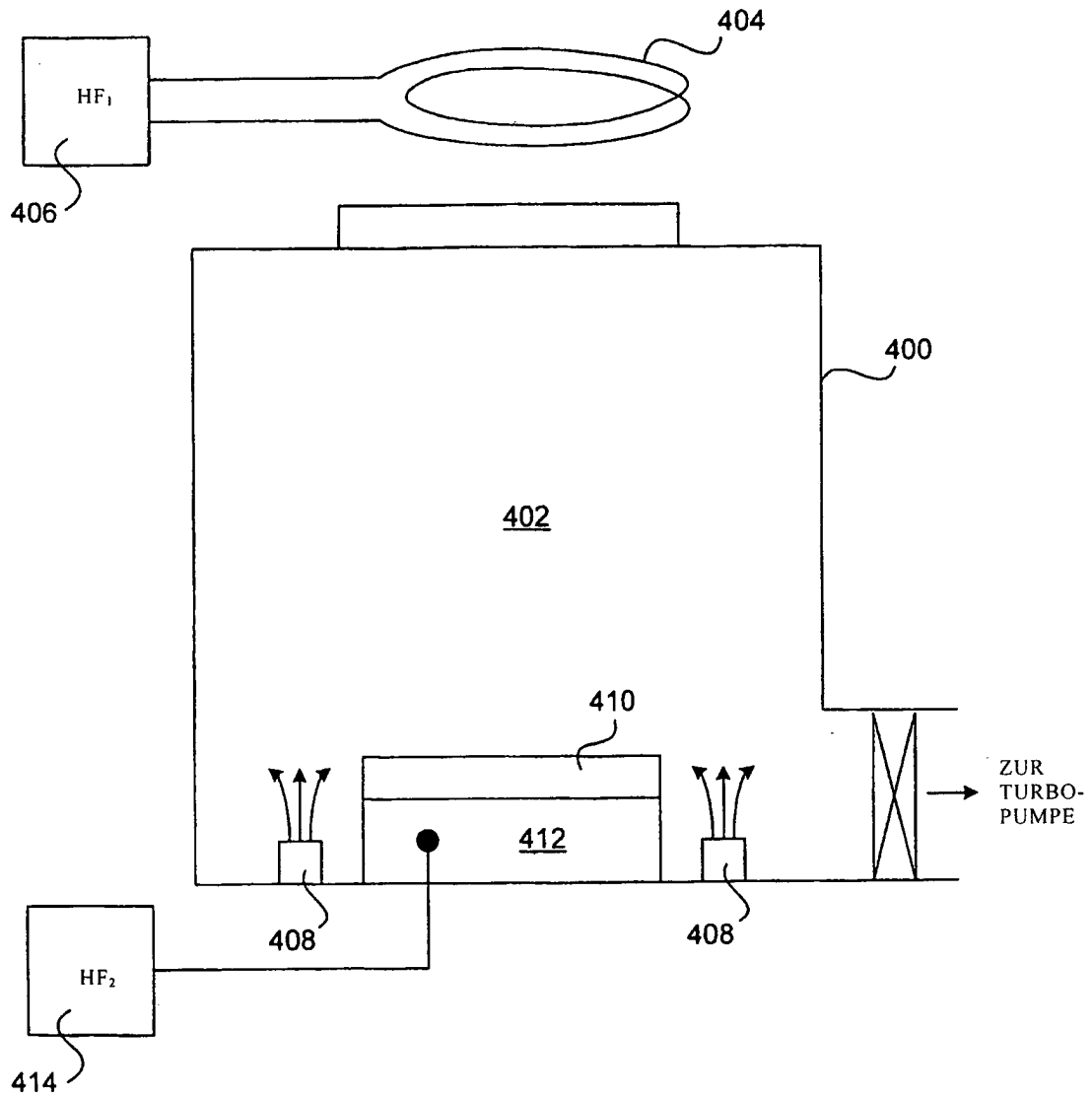


FIG. 4

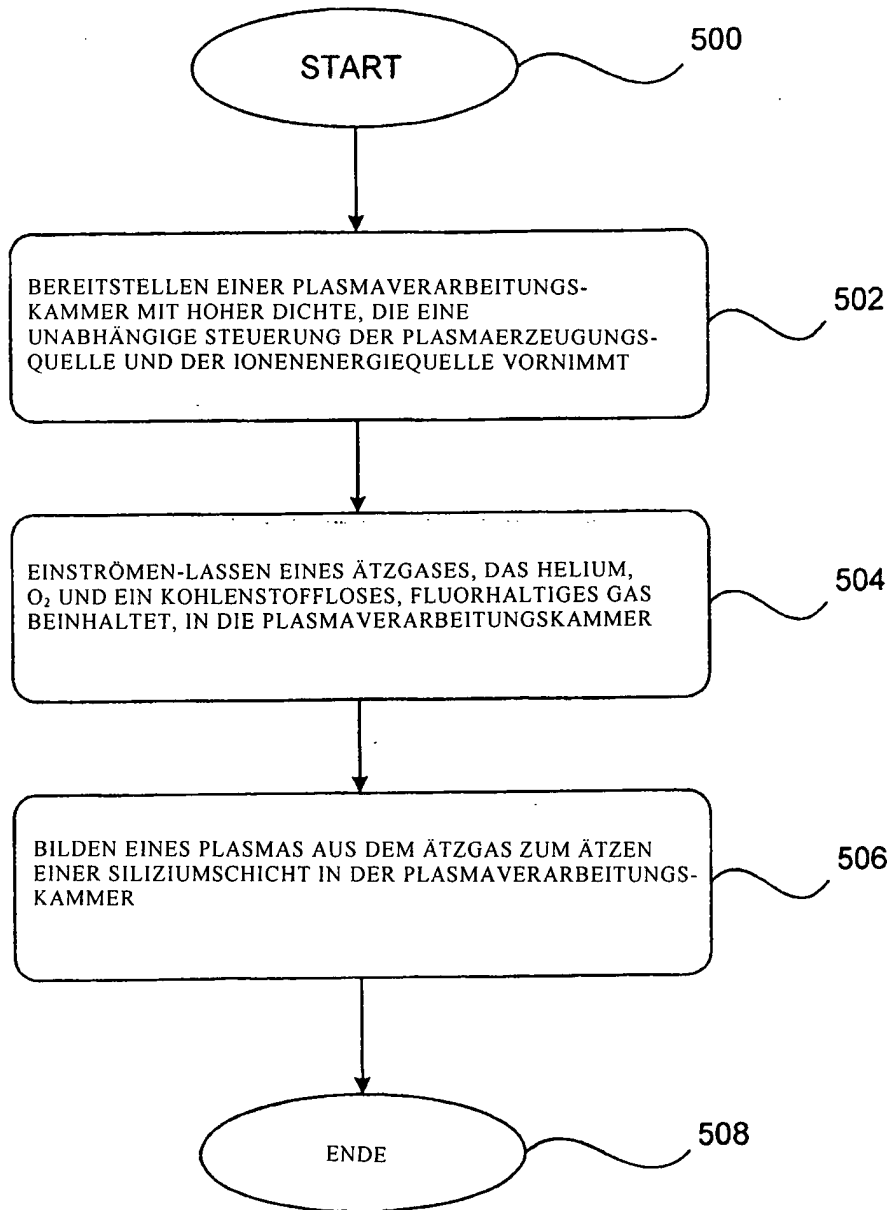


FIG. 5