



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 19 343 T2** 2007.12.13

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 444 717 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01J 37/32** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 19 343.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/32057**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 801 663.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/034463**

(86) PCT-Anmeldetag: **09.10.2002**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **24.04.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.08.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **04.04.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.12.2007**

(30) Unionspriorität:

328796 P	15.10.2001	US
24208	21.12.2001	US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR

(73) Patentinhaber:

LAM Research Corp., Fremont, Calif., US

(72) Erfinder:

COOPERBERG, David J., Mount Kisco, NY 10549, US; VAHEDI, Vahid, Albany, CA 94706, US; RATTO, Douglas, Santa Clara, CA 95054, US; SINGH, Harmeet, Berkeley, CA 94709, US; BENJAMIN, Neil, East Palo Alto, CA 94303, US

(74) Vertreter:

Diehl & Partner GbR, 80333 München

(54) Bezeichnung: **ABSTIMMBARES MEHRZONEN-GASINJEKTIONSSYSTEM**

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

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zum Zuführen von Reaktionspartnern zu einem Substrat in einem Plasmaverarbeitungssystem für Halbleitersubstrate wie zum Beispiel Halbleiterwafer. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein System und ein Verfahren zum Injizieren von Gas aus einer örtlich begrenzten Region über der Mitte des Substrats, um die Verarbeitungsgleichmäßigkeit und -effizienz zu erhöhen.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Vakuumverarbeitungskammern werden im Allgemeinen zum Ätzen oder zur chemischen Dampfabscheidung (CVD) von Materialien auf Substrate durch Zuführen von Prozessgas zu der Vakuumkammer und Anlegen eines Hochfrequenz (HF)-Feldes an das Gas verwendet. Das Verfahren des Injizierens von Prozessgasen in die Kammer kann einen außerordentlichen Einfluss auf die Verteilung chemisch reaktiver Spezies über der Substratoberfläche und somit auf den Gesamtprozess ausüben. Gewöhnlich werden Sprühkopfgasinjektions-Diffusionstransportsysteme verwendet, um eine gleichmäßige Verteilung des Prozessgases über dem Substrat zu gewährleisten. Im Fall induktiv gekoppelter Plasmaätzkammern zum Beispiel wird die Herausbildung geätzter Strukturelemente zu einem großen Teil durch die raumabhängige Dichte dieser reaktiven Spezies über dem Substrat und die Verteilung energiereicher Ionen, die auf das Substrat auftreffen, bestimmt.

[0003] US-Patent Nr. 4,691,662 an Roppel et al. offenbart eine Doppelplasmamikrowellenvorrichtung zum Ätzen und Abscheiden, wobei Prozessgas durch Leitungen zugeführt wird, die an einer Seitenwand einer Verarbeitungskammer montiert sind und sich über einen Abschnitt des Substrats erstrecken. US-Patent Nr. 5,522,934 an Suzuki et al. offenbart eine Gasinjektoranordnung, die mehrere Gaszufuhrdüsen enthält, die in mehreren Ebenen in einer Richtung positioniert sind, die im Wesentlichen senkrecht zu dem Substrat verläuft, wobei Inertgas (anstelle von Prozessgas) durch die Mitte der Kammerdecke injiziert wird. Die Gaszufuhrdüsen auf höheren Ebenen erstrecken sich weiter zur Mitte des Substrats hin als jene auf unteren Ebenen. Die Injektionslöcher befinden sich an den distalen Enden der Gaszufuhrdüsen. Diese Systeme sind effektiv beim Zuführen des Prozessgases zu der Region über dem Substrat. Weil jedoch die Leitungen über der Substratoberfläche zwischen dem Substrat und der primären Ionen erzeugungsregion verlaufen, können die Leitungen, während die Ionen aus der Erzeugungsregion in Richtung des Substrats diffundieren, Schatten einer Ionenungleichmäßigkeit auf die Substratoberfläche

werfen. Dies kann zu einem unerwünschten Verlust an Ätz- und Abscheidungs gleichmäßigkeit führen.

[0004] Bei anderen Vorgehensweisen werden Gaszufuhrleitungen verwendet, die sich nicht über die Substratoberfläche erstrecken. "Electron Cyclotron Resonance Microwave Discharges for Etching and Thin-film Deposition", J. Vacuum Science and Technology A, Band 7, Seiten 883-893 (1989), von J. Asmussen zeigt Leitungen, die sich nur bis zum Substratrand erstrecken. "Low-temperature Deposition of Silicon Dioxide Films from Electron Cyclotron Resonant Microwave Plasmas", J. Applied Physics, Band 65, Seiten 2457-2463 (1989), von T. V. Herak et al. veranschaulicht ein Plasma-CVD-Werkzeug, das mehrere Gasinjektionsleitungen enthält, die separate Prozessgase einleiten. Ein Satz Leitungen ist in der unteren Kammerwand montiert, wobei sich Gaszufuhröffnungen unmittelbar außerhalb der Peripherie des Substratträgers und an den distalen Enden der Leitungen befinden. Diese Leitungsanordnungen können infolge des Erwärmens der Enden der Leitungen Prozessdriftprobleme verursachen.

[0005] "New Approach to Low Temperature Deposition of Highquality Thin Films by Electron Cyclotron Resonance Microwave Plasmas", J. Vac. Sci. Tech., B, Band 10, Seiten 2170-2178 (1992), von T. T. Chau et al. veranschaulicht ein Plasma-CVD-Werkzeug, das eine Gaseinlassleitung enthält, die in der unteren Kammerwand montiert ist und sich unmittelbar über und außerhalb der Peripherie des Substratträgers befindet. Die Leitung ist so gebogen, dass die Injektionsachse im Wesentlichen parallel zu dem Substrat verläuft. Eine zusätzliche horizontale Leitung ist für ein zweites Prozessgas vorhanden. Die Gasinjektionsöffnungen befinden sich an den distalen Enden der Leitungen. Injektoren, deren Öffnungen sich an den distalen Enden der Injektorrohre befinden, können zum Verstopfen neigen, nachdem eine relativ kleine Partie von Substraten verarbeitet wurde, zum Beispiel weniger als 100. Dieses Verstopfen der Injektoröffnung ist abträglich, da es zu einer ungleichmäßigen Verteilung von Reaktionspartnern, einer ungleichmäßigen Filmabscheidung oder Ätzung des Substrats, Verschiebungen bei der Gesamtabscheidungs- oder -ätzrate sowie zu einer wirtschaftlichen Ineffizienz im Verhältnis zur Werkzeugstillstandszeit infolge erforderlicher Wartungsarbeiten führt.

[0006] Es sind bereits verschiedene Systeme vorgeschlagen worden, um die Prozessgleichmäßigkeit durch Injizieren von Prozessgas mit Schall- oder Überschallgeschwindigkeit zum Beispiel mit Hilfe einer einzelnen Düse, die auf die Mitte des Substrats gerichtet ist, zu verbessern, wie es in dem im gemeinsamen Besitz befindlichen US-Patent Nr. 6,230,651 an Ni et al. offenbart ist. Andere Systeme arbeiten mit einer Sprühkopfanordnung mit einer Verteilung kleiner Löcher, die dafür ausgelegt sind, eine Überschall-

injektion zu erzeugen. Dieses zweite Design kann reaktive neutrale Dichten über dem Substrat verbessern, erfordert aber das Vorhandensein eines leitenden Gasverteilungs- und -ablenksystems, das die induktive Kopplung verschlechtern kann und eine Quelle für Prozesskontamination sein kann.

[0007] US-Patent Nr. 4,270,999 an Hassan et al. offenbart den Vorteil des Injizierens von Prozessgasen für Plasmaätz- und -abscheidungsanwendungen mit Schallgeschwindigkeit. Hassan et al. merken an, dass das Erreichen von Schallgeschwindigkeit in der Düse eine explosive Entladung aus dem Vakuumendpunkt der Düse fördert, was eine stark verwirbelte und gleichmäßige Dissipation von Gasmolekülen in der Reaktionszone um das Substrat herum hervorruft. US-Patent Nr. 5,614,055 an Fairbairn et al. offenbart längliche Überschallsprühdüsen, die Reaktantgase mit Überschallgeschwindigkeit in Richtung der Region sprühen, die das Substrat überlagert. Die Düsen erstrecken sich von der Kammerwand in Richtung des Substrats, wobei jede Düsen Spitze eine Gasverteilungsöffnung am distalen Ende aufweist. US-Patent Nr. 4,943,345 an Asmussen et al. offenbart eine Plasma-CVD-Vorrichtung, die Überschalldüsen enthält, mit denen erregtes Gas auf das Substrat gerichtet wird. US-Patent Nr. 5,164,040 an Eres et al. offenbart gepulste Überschalldüsen für CVD. Obgleich diese Systeme darauf abzielen, die Prozessgleichmäßigkeit zu verbessern, sind sie mit den oben angesprochenen Nachteilen behaftet, nämlich dem Verstopfen der Öffnungen an den distalen Enden der Injektoren, was die Filmgleichmäßigkeit auf dem Substrat beeinträchtigen kann.

[0008] Es sind schon verschiedene Systeme vorgeschlagen worden, um, die Prozessgleichmäßigkeit durch Injizieren von Prozessgas mit Hilfe mehrerer Injektionsdüsen zu verbessern. Das in gemeinsamem Besitz befindliche US-Patent Nr. 6,013,155 an McMillin et al. offenbart ein HF-Plasmaverarbeitungssystem, wobei Gas durch Injektorrohre über Öffnungen zugeführt wird, die sich von den starken elektrischen Feldlinienkonzentrationen, die an der distalen Spitze der Rohre anzutreffen sind, entfernt befinden. Diese Anordnung minimiert das Verstopfen der Öffnungen, weil sich die Öffnungen von den Bereichen entfernt befinden, wo es zur Ansammlung von Prozessnebenprodukten kommt.

[0009] US-Patent Nr. 4,996,077 an Moslehi et al. offenbart eine Elektronenzyklotronresonanz (ECR)-Vorrichtung, die Gasinjektoren enthält, die um die Peripherie eines Substrats herum angeordnet sind, um eine gleichmäßige Verteilung von Nicht-Plasmagasen zu erreichen. Die Nicht-Plasmagase werden injiziert, um die Teilchenkontamination zu verringern, und die Injektoren sind so ausgerichtet, dass das Nicht-Plasmagas auf die zu verarbeitende Substratoberfläche ausgerichtet ist.

[0010] US-Patent Nr. 5,252,133 an Miyazaki et al. offenbart eine Mehrwafer-Nichtplasma-CVD-Vorrichtung, die ein vertikales Gaszufuhrrohr enthält, das mehrere Gasinjektionslöcher entlang einer Längsachse aufweist. Die Injektionslöcher erstrecken sich entlang der Längsseite eines Waferhalters, der mehrere Substrate trägt, um Gas in die Kammer einzuleiten. Gleichermaßen offenbart US-Patent Nr. 4,992,301 an Shishiguchi et al. mehrere vertikale Gaszufuhrrohre mit Gasausströmlöchern entlang der Länge des Rohres.

[0011] US-Patent Nr. 6,042,687 an Singh et al. beschreibt ein System mit zwei unabhängigen Gasquellen. Die primäre Quelle injiziert Gas in Richtung des Substrats, und die sekundäre Quelle injiziert Gas an der Peripherie des Substrats. Die Gasquellen stellen separate Baugruppen dar und werden aus separaten Gaszufuhrleitungen gespeist, die verschiedene Gasgemische transportieren können. Weitere Systeme, die unabhängige Gasquellen und eine unabhängige Gasflusssteuerung umfassen, sind in den US-Patenten Nr. 5,885,358 und 5,772,771 offenbart.

[0012] Aufgrund des in der Industrie vorherrschenden Trends in Richtung immer größerer Substrate werden Verfahren und Vorrichtungen, die ein gleichmäßiges Ätzen und Abscheiden gewährleisten, immer wichtiger. Dies zeigt sich besonders bei der Flachbildschirmverarbeitung. Herkömmliche Sprühkopfgasinjektionssysteme können Gase zur Mitte des Substrats leiten, aber um die Öffnungen nahe dem Substrat anzuordnen, muss die Kammerhöhe verringert werden, was zu einem unerwünschten Verlust an Gleichmäßigkeit führen kann. Mit radialen Gasinjektionssystemen ist eine adäquate Prozessgaszuführung zur Mitte großflächiger Substrate, wie man sie zum Beispiel bei der Flachbildschirmverarbeitung findet, möglicherweise nicht zu bewerkstelligen. Dies gilt insbesondere für unterseitig gepumpte Kammerkonstruktionen, wie man sie gewöhnlich in Plasmaverarbeitungssystemen findet.

[0013] Das oben erwähnte Patent von Fairbairn et al. offenbart ebenfalls ein Sprühkopfinjektionssystem, in dem Injektoröffnungen an der Decke des Reaktors angeordnet sind. Dieses Sprühkopfsystem enthält des Weiteren mehrere eingebettete Magnete, um ein Verstopfen der Öffnung zu mindern. US-Patent Nr. 5,134,965 an Tokuda et al. offenbart ein Verarbeitungssystem, bei dem Prozessgas durch Einlässe an der Decke einer Verarbeitungskammer injiziert wird. Das Gas wird in Richtung einer Region mit hoch-dichtem Plasma zugeführt.

[0014] Neben den oben beschriebenen Systemen offenbart US-Patent Nr. 4,614,639 an Hegedus einen Parallelplattenreaktor, der durch eine mittige Öffnung mit einem aufgeweiteten Ende in seiner oberen Wand und mehrere Öffnungen entlang der Peripherie

der Kammer mit Prozessgas beaufschlagt wird. Die US-Patente Nr. 5,525,159 (Hama et al.), Nr. 5,529,657 (Ishii), Nr. 5,580,385 (Paranjpe et al.), Nr. 5,540,800 (Qian) und Nr. 5,531,834 (Ishizuka et al.) offenbaren Plasmakammeranordnungen, in die Prozessgas durch einen Sprühkopf eingeleitet wird und die über eine Antenne betrieben werden, die ein induktiv gekoppeltes Plasma in der Kammer erzeugt. Vorrichtungen und Systeme zum Erreichen einer gleichmäßigen Verteilung von Gas über einem Substrat sind in den US-Patenten Nr. 6,263,829, Nr. 6,251,187, Nr. 6,143,078, Nr. 5,734,143 und Nr. 5,425,810 offenbart.

[0015] US-Patent Nr. 6294466B offenbart in [Fig. 1](#) eine Prozesskammer, die einen Gasinjektor zum Zuführen von Gas in eine Prozesskammer enthält, wobei der Gasinjektor wenigstens zwei Gasauslässe umfasst, wobei der Gasinjektor in der Lage ist, Gas mit unabhängigen Strömungsraten durch die wenigstens zwei Auslässe zuzuführen. Die Vorrichtung enthält des Weiteren eine Kuppel, die in der Regel aus Keramik hergestellt ist, wobei die Innenwand der Kuppelspitze einem Substrathalter gegenüber angeordnet ist.

[0016] JP-59150417 enthält zum Einleiten eines Gases ein Rohr **11** mit einer Doppelrohrbauweise, das vertikal durch die Mitte eines Sockels hindurchdringt.

[0017] US-6230651-B offenbart ein Gasinjektionssystem zur Plasmaverarbeitung, das einen Gasinjektor **22** umfasst.

[0018] Trotz der bis heute stattgefundenen Entwicklungen besteht nach wie vor Bedarf an einer Optimierung der Gleichmäßigkeit und Abscheidung für die Hochfrequenz-Plasmaverarbeitung eines Substrats, während ein Verstopfen der Gaszufuhröffnungen und ein Ansammeln von Verarbeitungsnebenprodukten verhindert werden und der Konvektionstransport über dem Substrat verbessert wird.

Zusammenfassung der Erfindung

[0019] Die Erfindung stellt ein Plasmaverarbeitungssystem gemäß Anspruch 1 bereit.

[0020] Das System ist bevorzugt ein chemisches Dampfabcheidungssystem für hochdichtes Plasma oder ein Ätzsystem für hochdichtes Plasma.

[0021] Die HF-Energiequelle kann eine HF-Antenne umfassen, und der Gasinjektor kann das Prozessgas in Richtung einer Primärplasmaerzeugungszone in der Kammer injizieren. Die Gasauslässe können in einer axialen Endfläche des Gasinjektors angeordnet sein, wodurch mehrere Gasauslasszonen gebildet werden. Zum Beispiel können die Gasauslässe einen

mittigen Gasauslass (axiale Zone), der sich in einer axialen Richtung senkrecht zu der exponierten Oberfläche des Substrats erstreckt, und mehrere gewinkelte Gasauslässe (nicht-axiale Zonen) beinhalten, die sich in einem spitzen Winkel zu der axialen Richtung erstrecken. Die Injektorauslässe sind so angeordnet, dass die Gleichmäßigkeit reaktiver Spezies über dem Substrat verbessert wird. Eine einzelne Gaszufuhr ist so unterteilt, dass jede der Injektionszonen beschickt wird.

[0022] Die Gasinjektion kann zwischen einem oder mehreren der Injektorauslässe mit Hilfe variabler Durchflussbegrenzungsvorrichtungen in jeder der separaten Gasleitungen, welche die verschiedenen Injektionszonen speisen, unterteilt werden. Durch unabhängiges Ändern der Einstellung der Durchflussbegrenzungsvorrichtungen kann das Verhältnis der Durchflüsse durch mehrere Zonen hindurch verändert werden, um Düsenstrahlen von variierender Größe und mit verschiedenen Winkeln relativ zur Achse der Prozesskammer zu erzeugen. Diese Balance zwischen axialer und nicht-axialer Injektion bestimmt das Konvektionsströmungsfeld stromabwärts der Düsenpitze. Dieses Strömungsfeld kann dafür verwendet werden, die Gesamtströmung in der Kammer zu modifizieren, die Konvektions- und Diffusionskomponenten enthält. Infolge dessen kann die Raumdichteabhängigkeit von reaktiven Spezies im Hinblick auf die Verbesserung der Prozessgleichmäßigkeit moduliert werden.

[0023] Der Gasinjektor kann das Prozessgas mit einer Unterschall-, Schall- oder Überschallgeschwindigkeit injizieren. In einer Ausführungsform ist der Gasinjektor herausnehmbar in dem dielektrischen Fenster montiert und/oder leitet das Prozessgas in eine mittige Region der Kammer. Die Gasauslässe können verschiedene Konfigurationen und/oder Raumanordnungen haben. Zum Beispiel kann der Gasinjektor ein geschlossenes distales Ende enthalten, und die Gasauslässe können so ausgerichtet sein, dass sie Prozessgas in einem spitzen Winkel relativ zu einer Ebene parallel zu einer exponierten Oberfläche des Substrats injizieren. In dem Fall, wo der Gasinjektor herausnehmbar in der Öffnung in dem dielektrischen Fenster montiert ist, bildet wenigstens ein O-Ring eine Vakuumdichtung zwischen dem Gasinjektor und dem dielektrischen Fenster.

[0024] Die Erfindung stellt des Weiteren ein Verfahren zur Plasmaverarbeitung eines Substrats gemäß Anspruch 19 bereit. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Auslasslöcher in dem Injektor durch mehrere Gaszufuhrleitungen gespeist, die durch eine einzelne Gasquelle gespeist werden. Der Anteil der Gesamtströmung durch jede der Zufuhrleitungen kann mittels einer Steuerventilanordnung variiert werden, zum Beispiel ein Netzwerk aus Ventilen und Drosselementen, die

sich außerhalb der Plasmakammer befinden. Somit wird das Strömungsmuster in der Kammer durch Verändern des Verhältnisses der Konduktanzen für jede Injektionszone innerhalb des Injektors moduliert.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0025] [Fig. 1](#) veranschaulicht ein Plasmaverarbeitungssystem gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0026] [Fig. 2a-Fig. 2b](#) zeigen Details eines Zweizoneninjektors, dem Prozessgas durch eine einzelne Hauptgaszufuhr zugeführt wird und der so geteilt ist, dass er Gas unabhängig beiden Injektionszonen zuführt.

[0027] [Fig. 2c](#) zeigt einen Zweizoneninjektor, der mit einem elektrisch leitenden äußeren Mantel versehen ist.

[0028] [Fig. 3a-Fig. 3c](#) zeigen Gasverteilungseffekte in einem induktiv gekoppelten Plasmareaktor, der mit einer anderen Gasinjektionsanordnung arbeitet. Die Anordnungen aus den

[0029] [Fig. 3b-Fig. 3c](#) sind gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Anordnung aus [Fig. 3a](#) bildet keinen Bestandteil der Erfindung.

[0030] [Fig. 4a-Fig. 3c](#) zeigen die Auswirkung des Strömungsverhältnisses auf die Ätzrate einer Polysiliziumdeckschicht unter Verwendung eines Gate-Ätzprozesses.

[0031] [Fig. 5a-Fig. 5c](#) zeigen die Auswirkung des Strömungsverhältnisses auf die Ätzrate einer Siliziumdeckschicht unter Verwendung eines Flachgrabenisoliationsprozesses.

[0032] [Fig. 6a-Fig. 6b](#) und [Fig. 7a-Fig. 7b](#) veranschaulichen eine Verbesserung bei der Gleichmäßigkeit kritischer Abmessungen für Polysiliziumgates und beschnittene Photoresistmasken durch Verstellen des Strömungsverhältnisses.

[0033] [Fig. 8a-Fig. 8b](#) zeigen, dass die mittleren Ätzcharakteristika durch Verstellen der Prozessgasdurchflussmengenverhältnisse abgestimmt werden können.

Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0034] Die vorliegende Erfindung stellt ein verbessertes Gasinjektionssystem zur Plasmaverarbeitung von Substraten wie zum Beispiel durch Ätzen oder CVD bereit. Das Injektionssystem kann dafür verwendet werden, Gase zu injizieren, wie zum Beispiel Gase, die Silicium, Halogen (zum Beispiel F, Cl, Br usw.), Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff usw. enthal-

ten. Das Injektionssystem kann allein oder zusätzlich zu anderen Reaktant- oder Inertgaszufuhranordnungen verwendet werden.

[0035] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird eine Gasinjektionsanordnung für eine induktiv gekoppelte Plasmakammer bereitgestellt. In der bevorzugten Anordnung ist ein Gasinjektor mittig in einer oberen Wand der Kammer angeordnet, und ein oder mehrere Gasauslässe leiten Prozessgas in die Kammer über ein Halbleitersubstrat, wie zum Beispiel einem zu bearbeitenden Wafer oder Flachbildschirm. Der Gasinjektor gemäß der Erfindung kann die Gleichmäßigkeit von der Mitte zum Rand und die mittleren Ätz- oder Abscheidungscharakteristika verbessern, zum Beispiel kritische Abmessungen (KA), KA-Vorspannung, Profil und/oder Profilmikrobeladung.

[0036] Das Verfahren der Prozessgasinjektion in induktiv gekoppelte Plasmaätzkammern beeinflusst die Verteilung chemisch reaktiver Spezies über der Substratoberfläche. Die Herausbildung geätzter Strukturelemente wird größtenteils durch die raumabhängige Dichte dieser reaktiven Spezies über dem Substrat und die Verteilung von energiereichen Ionen, die auf das Substrat auftreffen, bestimmt. Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Injizieren von Gas aus einer örtlich begrenzten Region über der Mitte des verarbeiteten Substrats, das die Prozessleistung verbessert.

[0037] Die Prozessleistung kann durch die Gleichmäßigkeit der Ätzrate, die Breite und das Profil der Strukturelemente, die Genauigkeit der Strukturübertragung und die Gleichmäßigkeit der Strukturübertragung gemessen werden. Eine verbesserte Leistung kann durch Teilen der Prozessgasinjektion zwischen Injektorauslässen erreicht werden, die dafür ausgelegt sind, Düsenstrahlen von variierender Größe und mit variierenden Winkeln relativ zur Achse der Prozesskammer zu erzeugen. Zum Beispiel sind die Injektorauslässe bevorzugt so positioniert, dass die Gleichmäßigkeit von reaktiven Spezies über dem Substrat verbessert wird. Eine optimale Gasinjektion und damit eine optimale Prozessleistung können erreicht werden, indem man das Verhältnis der Durchflussmenge durch die Injektorauslässe verstellt. In einer bevorzugten Implementierung kann das Verhältnis der Durchflussmenge durch die axialen und nicht-axialen Auslässen verändert werden. Diese Balance zwischen axialer und nicht-axialer Injektion bestimmt das Konvektionsströmungsfeld stromabwärts der Düsen spitze. Dieses Strömungsfeld kann zum Modifizieren der Gesamtströmung in der Kammer verwendet werden, der Konvektions- und Diffusionskomponenten enthält. Infolge dessen kann die Raumdichteabhängigkeit von reaktiven Spezies moduliert werden. Das Injektionsschema ist somit abstimmbaar und minimiert des Weiteren eine erhebliche

Kontaminierung des Injektors und der Gasinjektionsleitungen durch Diffusion von Plasmaspezies, die im Inneren der Kammer erzeugt werden, indem wenigstens eine Mindestströmung von Prozessgas durch die Auslässe hindurch aufrecht erhalten wird. Zum Beispiel kann es wünschenswert sein, einen gedrosselten Durchfluss durch die Auslässe hindurch aufrecht zu erhalten. Das Injektionsschema ermöglicht es auch, die Gasinjektion für eine optimierte Leistung mit einem einzigen Satz Hardware abzustimmen. Zum Beispiel gestattet das Gasinjektionsschema für verschiedene Ätzanwendungen (und verschiedene Rezeptschritte innerhalb einer Ätzanwendung), die für eine optimale Gleichmäßigkeit verschiedene Verhältnisse von axialen zu nicht-axialen Durchflussmengen erfordern, eine Änderung dieses Verhältnisses ohne eine Werkzeugmodifikation.

[0038] Die Gasauslässe sind in einer Oberfläche des Gasinjektors angeordnet, die sich unter der Oberfläche der oberen Kammerwand befindet. Zum Beispiel kann der Gasinjektor ein zylindrisches Element umfassen, das Gasauslässe in einer Seitenwand und einen einzelnen Gasauslass in einem axialen Ende aufweist, wobei die Gasauslässe zwischen der oberen Wand und der exponierten Oberfläche des Halbleitersubstrats angeordnet sind. Gemäß der Erfindung lassen sich verbesserte Ätzergebnisse mit einem einzelnen Gasinjektor erzielen, der sich mittig in der oberen Kammerwand befindet. Es können jedoch auch mehrere Gasinjektoren in der oberen Wand der Kammer angeordnet sein, insbesondere in dem Fall, wo das Plasma durch eine Antenne erzeugt wird, die vom Innenraum der Kammer durch eine dielektrische Schicht oder ein dielektrisches Fenster getrennt ist, und/oder wo die Kammer zum Verarbeiten großer Substrate oder mehrerer Substrate verwendet wird.

[0039] Die Anzahl der Gasauslässe und/oder der Injektionswinkel des Gases, das aus den Gasauslässen strömt, können so gewählt werden, dass in einem bestimmten Substratverarbeitungsregime eine gewünschte Gasverteilung erreicht wird. Zum Beispiel können im Fall einer Einzelwaferverarbeitung die Anzahl, die Größe, der Injektionswinkel und/oder die Position der Auslässe innerhalb der Kammer an eine bestimmte Antennenkonstruktion, die dafür verwendet wird, HF-Energie induktiv in die Kammer einzukoppeln, an den Spalt zwischen der oberen Wand und der exponierten Oberfläche des Substrats und an den Ätzprozess, der an dem Substrat ausgeführt werden soll, angepasst werden.

[0040] [Fig. 1](#) zeigt einen Plasmaätzreaktor **10**, wie zum Beispiel den TCP 9100™ von der Lam Research Corporation, dem Abtretungsempfänger der vorliegenden Anmeldung. Gemäß der Erfindung ist der Gasinjektor in einer Öffnung montiert, die sich durch das dielektrische Fenster erstreckt. Die Vakuumver-

arbeitungskammer **10** enthält einen Substrathalter **12**, der über eine elektrostatische Spannvorrichtung **16** eine elektrostatische Klemmkraft an ein Substrat **13** anlegt und an ein auf dem Substrathalter **12** befindliches Substrat und einen Fokusring **14**, der das Plasma auf einen Bereich über dem Substrat begrenzt, während es rückseitig mit Helium gekühlt wird, eine HF-Vorspannung anlegt. Eine Energiequelle zum Aufrechterhalten eines Plasmas mit hoher Dichte (zum Beispiel 10^{11} - 10^{12} Ionen/cm³) in der Kammer, wie zum Beispiel eine Antenne **18**, die über eine geeignete HF-Quelle und eine zugehörige HF-Impedanzanpassungsschaltung **19** betrieben wird, koppelt induktiv HF-Energie in die Kammer **10** ein, so dass ein hochdichtes Plasma gebildet wird. Die Kammer enthält eine geeignete (nicht gezeigte) Vakuumpumpvorrichtung, die an den Auslass **15** angeschlossen ist, um das Innere der Kammer auf einem gewünschten Druck zu halten (zum Beispiel unter 6,669 Pa (50 mTorr), in der Regel 0,1333-2,666 Pa (1-20 mTorr)). Ein im Wesentlichen planares dielektrisches Fenster **20** von gleichmäßiger Dicke ist zwischen der Antenne **18** und dem Inneren der Verarbeitungskammer **10** angeordnet und bildet die Vakuumwand im oberen Teil der Verarbeitungskammer **10**. Ein Gasinjektor **22** ist in einer Öffnung in dem Fenster **20** angeordnet und enthält mehrere Gasauslässe, wie zum Beispiel (nicht gezeigte) kreisrunde Löcher zum Zuführen von Prozessgas, das durch die Gaszufuhr **23** zu der Verarbeitungskammer **10** geleitet wird. Eine optionale konische oder zylindrische Auskleidung **30** erstreckt sich von dem Fenster **20** und umgibt den Substrathalter **12**.

[0041] Während des Betriebes wird ein Halbleitersubstrat, wie zum Beispiel ein Wafer, auf dem Substrathalter **12** positioniert und wird in der Regel durch eine elektrostatische Klemmvorrichtung, eine mechanische Klemmvorrichtung oder einen sonstigen Klemmmechanismus an seinem Platz gehalten, wo eine rückseitige Heliumkühlung zum Einsatz kommt. Dann wird Prozessgas zu der Vakuumverarbeitungs-kammer **10** geleitet, indem das Prozessgas durch den Gasinjektor **22** geleitet wird. Das Fenster **20** kann planar und von gleichmäßiger Dicke sein, wie in [Fig. 1](#) gezeigt, oder kann andere Konfigurationen haben, wie zum Beispiel nicht-planare und/oder nicht-gleichmäßige Dickengeometrien. Ein hochdichtes Plasma wird in dem Raum zwischen dem Substrat und dem Fenster gezündet, indem der Antenne **18** eine geeignete HF-Leistung zugeführt wird. Nach Vollendung des Ätzens eines einzelnen Substrats wird das verarbeitete Substrat aus der Kammer genommen, und ein anderes Substrat wird zur Verarbeitung in die Kammer eingebracht.

[0042] Der Gasinjektor **22** kann ein separates Element aus dem gleichen Material wie das Fenster oder einem anderen Material als das Fenster umfassen. Zum Beispiel kann der Gasinjektor aus Metall, wie

zum Beispiel Aluminium oder Edelstahl, oder aus dielektrischen Materialien, wie zum Beispiel Quarz, Aluminiumoxid, Siliciumnitrid, Siliciumcarbid usw., hergestellt sein. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der Gasinjektor herausnehmbar in einer Öffnung in dem Fenster montiert. Der Gasinjektor kann jedoch auch integral mit dem Fenster ausgebildet sein. Zum Beispiel kann der Gasinjektor hartgelötet, gesintert oder auf sonstige Weise in einer Öffnung in dem Fenster befestigt werden, oder der Gasinjektor kann maschinell oder auf sonstige Weise in das Fenster eingearbeitet werden. Zum Beispiel kann das Fenster durch Sintern eines Keramikpulvers wie zum Beispiel Al_2O_3 oder Si_3N_4 ausgebildet werden, wobei der Gasinjektor die Form eines Fensters erhält.

[0043] Die [Fig. 2a-Fig. 2b](#) zeigen eine Ausführungsform der Erfindung, wobei der Injektor **22** eine Mehrzonengasinjektion ausführt. In der gezeigten Ausführungsform enthält der Injektor **22** einen axialen Injektionsauslass **24**, um Prozessgas zu einer ersten Zone zu leiten, zu der Prozessgas in einer axialen Richtung senkrecht zur Substratoberfläche geleitet wird, und einen nicht-axialen Injektionsauslass **26**, um Prozessgas zu einer zweiten Zone zu leiten, zu der Prozessgas in einer gewinkelten Richtung, die nicht senkrecht zu dem Substrat verläuft, geleitet wird. Beiden Zonen kann das gleiche Prozessgas zugeführt werden (zum Beispiel Prozessgas aus einem Gassammler, in dem ein oder mehrere Prozessgase miteinander kombiniert werden). Zum Beispiel kann die Hauptgaszufuhr **32** mit einem T-Verbinder **34** geteilt werden, um beide Injektionszonen zu beaufschlagen. Um den Gasstrom in jeder Leitung zu steuern, können Durchflussmengenregler, wie zum Beispiel variable Durchflussmengenbegrenzungsvorrichtungen **36a** und **36b**, in jeder der separaten Gasleitungen angeordnet werden, welche die verschiedenen Injektionszonen beaufschlagen. Die Vorrichtungen **36a** und **36b** können manuell eingestellt werden oder automatisch mittels geeigneter elektronischer Steuerungen betätigt werden. Durch unabhängiges Verändern der Einstellungen der Durchflussmengenbegrenzungsvorrichtungen **36a** und **36b** kann das Verhältnis der Durchflussmengen durch die zwei Auslässe **24** und **26** hindurch verändert werden. Alternative Implementierungen enthalten mehrere Auslässe und variable Durchflussmengenbegrenzungsventile und/oder Netzwerke aus fest eingestellten Begrenzern und Ventilen, die es ermöglichen würden, die Gesamtkonduktanz zu jeder Injektionszone auf einen oder mehrere voreingestellte, dynamisch kontrollierte Werte einzustellen.

[0044] In der Ausführungsform von [Fig. 2a](#) ist der mittige Gasinjektionsauslass als eine Fortsetzung der mittigen Bohrung **25** gezeigt, wodurch die Bohrung oder der Auslass **24**, **25** für interferometrische Messungen verwendet werden kann. Zum Beispiel

kann das obere Ende der Bohrung **25** durch ein Fenster **27** verschlossen sein, das dafür konfiguriert ist, mit einer Überwachungs-ausrüstung **29** zu kommunizieren, wie zum Beispiel einer Lampen-, Spektrometer-, Lichtwellenleiter- und Linsen-anordnung, die im US-Patent Nr. 6,052,176 offenbart ist. In einer solchen Anordnung hat der axiale Auslass einen größeren Durchmesser als die nicht-axialen Auslässe, zum Beispiel 1 cm Durchmesser für den axialen Auslass und 1 mm Durchmesser für die nicht-axialen Auslässe. In der Ausführungsform von [Fig. 2b](#) hat der axiale Auslass einen kleineren Durchmesser als die Bohrung **25**. Die relativen Größen der axialen und nicht-axialen Auslässe können so gewählt werden, dass eine gewünschte Gasstromverteilung erreicht wird. Zum Beispiel kann die Gesamtquerschnittsfläche der nicht-axialen Auslässe kleiner als, gleich der oder größer als die Gesamtquerschnittsfläche des axialen Auslasses sein.

[0045] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung kann der Injektor mit einer elektrisch leitenden Abschirmung versehen sein, welche die Plasmazündung innerhalb der Gasdurchlässe des Injektors minimiert. Wenn der Injektor aus einem nicht-leitenden Material wie zum Beispiel Quarz besteht, so kann eine Plasmaentladung innerhalb des Injektors durch elektrische Felder aufrecht erhalten werden, die durch die Antenne erzeugt werden. Reaktive Spezies, die innerhalb des Injektors erzeugt werden, können unerwünschte Abscheidungen auf den Innenseiten des Injektors oder ein unerwünschtes Ätzen der Innenseiten des Injektors verursachen. Um also – womit wir uns [Fig. 2c](#) zuwenden – die Entstehung dauerhafter Entladungen zu minimieren, kann der Injektor **22** mit einer leitenden Abschirmung **40** versehen werden oder mit einem elektrisch leitenden Film beschichtet werden. Die leitende Abschirmung kann auf der Außenseite des Injektors angeordnet sein, zum Beispiel entlang der Seitenwand des Injektors. Die Abschirmung kann elektrische Felder im Inneren des Injektors deutlich verringern, um eine Plasmazündung und/oder die Aufrechterhaltung eines Plasmas in Gasdurchlässen des Injektors zu verhindern. Wie in [Fig. 2c](#) gezeigt, kann die leitende Abschirmung **40** als ein röhrenförmiges Element konstruiert sein, wie zum Beispiel ein Ring oder ein offen-endiger zylindrischer Mantel. Die Abschirmung kann optional eine elektrisch leitfähige Beschichtung auf der Seite und/oder der Oberseite (zum Beispiel **40'**) des Injektors umfassen. Der leitende Mantel kann elektrisch geerdet oder ungeerdet sein, um die elektrische Feldstärke im Inneren des Injektors in Abhängigkeit von der Nähe anderer geerdeter und HF-angesteuerter leitender Oberflächen weiter zu verringern.

[0046] Die [Fig. 3a-Fig. 3c](#) veranschaulichen die Auswirkung des Injektorströmungsverhältnisses auf die Dichten reaktiver Spezies in einem induktiv ge-

koppelten Plasmareaktor, der einen Gasinjektor **22** enthält, der in einer Öffnung in dem Fenster **20** montiert ist (die Konturen einer zunehmenden Reaktantdichte sind durch Pfeile A gezeigt, und die Konturen einer zunehmenden Produktdichte sind durch Pfeile B gezeigt). In [Fig. 3a](#) sind die (nicht gezeigten) Durchflussbegrenzungsvorrichtungen so eingestellt, dass sie die Gaszufuhr größtenteils durch den axialen Auslass hindurch richten. In [Fig. 3b](#) sind die (nicht gezeigten) Durchflussbegrenzungsvorrichtungen so eingestellt, dass sie die Gaszufuhr größtenteils durch die nicht-axialen Auslässe hindurch richten. In [Fig. 3c](#) wird das Verhältnis des Zufuhrgasstroms durch den axialen Auslass und die nicht-axialen Auslässe hindurch so abgestimmt, dass flache Dichtekonturen für die reaktiven Spezies sowohl der Reaktionspartner als auch des Produkts erzeugt werden. Diese Diagramme berücksichtigen nicht die Wechselwirkung zwischen der Injektionsströmungsverteilung und dem Plasmaerzeugungs- bzw. -dichteprofil. Der Einfluss der Reaktantenausnutzung ist ebenfalls nicht gezeigt. Man kann mit Recht annehmen, dass solche Wechselwirkungen tatsächlich bestehen und sich auch auf Profile der Plasmadichte und der reaktiven neutralen Dichte über dem Substrat auswirken können. Das Verhältnis der Durchflussmengen durch die Injektorauslässe kann so gewählt werden, dass die Gleichmäßigkeit einer oder mehrerer der Plasma- und reaktiven Spezies optimiert wird.

[0047] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform enthält der Gasinjektor einen einzelnen axialen Auslass und mehrere nicht-axiale Auslässe (zum Beispiel 3 Auslässe, die 120° voneinander beabstandet sind, 4 Auslässe, die 90° voneinander beabstandet sind, usw.) Die Auslassanordnung ist für einen Polysiliziumätzprozess oder einen Aluminiumätzprozess brauchbar. Zum Beispiel können die nicht-axialen Auslässe 45° voneinander beabstandet und auf einer konischen Seitenfläche angeordnet sein, die sich von der äußeren Peripherie des axialen Endes erstreckt. Die nicht-axialen Winkel können einen spitzen, einen rechten oder einen stumpfen Winkel zu der axialen Richtung bilden. Ein bevorzugter Winkel der nicht-axialen Auslässen ist 10 bis 90° relativ zur axialen Richtung, besonders bevorzugt 10 bis 60°.

[0048] Die ganz besonders bevorzugte Montageanordnung für den Gasinjektor ist eine herausnehmbare Montageanordnung. Zum Beispiel könnte der Gasinjektor in das Fenster eingeschraubt sein oder mit Hilfe einer geeigneten Klemmeinrichtung an dem Fenster festgeklemt sein. Eine bevorzugte herausnehmbare Montageanordnung ist eine, bei der der Gasinjektor einfach in das Fenster eingeschoben wird, wobei nur ein oder mehrere O-Ringe zwischen dem Fenster und dem Gasinjektor angeordnet sind. Zum Beispiel kann ein O-Ring in einer Nut um einen unteren Teil des Gasinjektors angeordnet sein, um eine Abdichtung zwischen dem Gasinjektor und der

Öffnung in dem Fenster zu erzeugen. Gewünschtenfalls kann ein weiterer O-Ring in einer Nut in einem (nicht gezeigten) oberen Teil des Gasinjektors angeordnet sein, um eine Abdichtung zwischen dem Gasinjektor und einer Außenfläche des Fensters zu erzeugen.

[0049] Der Gasinjektor gestattet es vorteilhafterweise einem Bediener, eine Prozessgaszufuhranordnung für einen Plasmaätzreaktor zu modifizieren, um die Gasverteilung in dem Reaktor zu optimieren. Zum Beispiel ist es beim Plasmaätzen von Aluminium wünschenswert, das Prozessgas in das Plasma hinein zu verteilen, anstatt das Prozessgas direkt auf das zu ätzende Substrat zu richten. Beim Plasmaätzen von Polysilizium ist es wünschenswert, das Prozessgas in das Plasma hinein zu verteilen und das Prozessgas direkt auf das zu ätzende Substrat zu richten. Zu einer weiteren Optimierung kann gehören, einen Gasinjektor auszuwählen, der sich um eine gewünschte Distanz unterhalb der Innenfläche des Fensters erstreckt und/oder eine bestimmte Gasauslassanordnung enthält. Das heißt, je nach dem Ätzprozess können die Anzahl der Gasauslässe, die Position der Gasauslässe, wie zum Beispiel am axialen Ende und/oder entlang der Seiten des Gasinjektors, sowie der oder die Injektionswinkel der Gasauslässe so gewählt werden, dass optimale Ätzergebnisse erzielt werden. Zum Beispiel ist der Injektionswinkel für größere Substrate vorzugsweise größer.

[0050] Der Gasinjektor kann zum Plasmaätzen von Aluminium verwendet werden, indem das Prozessgas so in das Innere der Kammer injiziert wird, dass das Gas in einem gewünschten Verteilungsmuster bereitgestellt wird. Zum Beispiel kann das Prozessgas 100 bis 500 sccm (Standard-cm³/min) eines Gemisches aus Cl₂ und BCl₃ oder Cl₂ und N₂ oder BCl₃, Cl₂ und N₂ enthalten.

[0051] Der Gasinjektor kann auch zum Plasmaätzen von Polysilizium verwendet werden, indem das Prozessgas so in das Innere der Kammer injiziert wird, dass das Gas in einem gewünschten Verteilungsmuster bereitgestellt wird. Zum Beispiel kann das Prozessgas 100 bis 500 sccm (Standard-cm³/min) eines Gemisches aus Cl₂ und HBr oder nur Cl₂ oder nur HBr enthalten, gegebenenfalls mit einem Träger wie zum Beispiel He und/oder einem Additiv wie zum Beispiel O₂.

[0052] Beim Verarbeiten eines Halbleitersubstrats wird das Substrat in die Verarbeitungskammer **10** eingebracht und mit Hilfe einer mechanischen oder elektrostatischen Klemmvorrichtung an einem Substratträger festgeklemt. Das Substrat wird in der Verarbeitungskammer verarbeitet, indem ein Prozessgas in der Verarbeitungskammer mit Energie beaufschlagt wird, um es in ein hochdichtes Plasma zu verwandeln. Eine Energiequelle erhält ein hochdichtes

Plasma (zum Beispiel 10^9 - 10^{12} Ionen/cm³, bevorzugt 10^{10} - 10^{12} Ionen/cm³) in der Kammer aufrecht. Zum Beispiel koppelt eine Antenne **18**, wie zum Beispiel die planare mehrfach gewundene Spiralwicklung, eine nicht-planare mehrfach gewundene Wicklung oder eine Antenne mit einer anderen Form, die durch eine geeignete HF-Quelle und eine geeignete HF-Impedanzanpassungsschaltung betrieben wird, HF-Energie induktiv in die Kammer ein, um ein hochdichtes Plasma zu erzeugen. Das Plasma kann aber auch durch andere Quellen erzeugt werden, wie zum Beispiel ECR-, Parallelplatten-, Helicon-, Helixresonator-Quellen usw. Die Kammer kann eine geeignete Vakuumpumpvorrichtung enthalten, um das Innere der Kammer auf einem gewünschten Druck zu halten (zum Beispiel unter 666,5 Pa (5 Torr), bevorzugt 0,1339-13,39 Pa (1-100 mTorr)). Ein dielektrisches Fenster, wie zum Beispiel das planare dielektrische Fenster **20** von gleichmäßiger Dicke oder ein nicht-planares dielektrisches Fenster, ist zwischen der Antenne **18** und dem Inneren der Verarbeitungskammer **10** angeordnet und bildet die Wand im oberen Teil der Verarbeitungskammer **10**.

[0053] Eine Gaszufuhr, die Prozessgas in die Kammer leitet, enthält den oben beschriebenen Gasinjektor. Die Prozessgase enthalten reaktive Gase und optional Trägergase wie zum Beispiel Ar. Aufgrund der geringen Öffnungsgröße und Anzahl der Gasauslässe kann sich zwischen dem Gasinjektor und dem Kammerinneren ein großer Druckunterschied aufbauen. Wenn zum Beispiel der Gasinjektor einen Druck von >133,3 Pa (1 Torr) aufweist und das Kammerinnere einen Druck von etwa 1,333 Pa (10 mTorr) aufweist, so beträgt der Druckunterschied etwa 100:1. Dies führt zu einer gedrosselten Durchflussmenge mit Schallgeschwindigkeit an den Gasauslässen. Gewünschtenfalls kann die innere Öffnung der Gasauslässe so konturiert werden, dass eine Überschallströmung an jedem Auslass entsteht.

[0054] Das Injizieren des Prozessgases mit Schallgeschwindigkeit hindert das Plasma daran, in die Gasauslässe einzudringen. Im Fall einer Ablagerung von Materialien wie zum Beispiel dotiertem oder undotiertem Siliciumdioxid verhindert ein solches Design, dass Plasmazersetzungsgase wie zum Beispiel SiH₄ aus dem Inneren der Kammer in den Injektor eindringen. Dies vermeidet die anschließende Entstehung amorpher Siliciumrückstände innerhalb der Gasauslässe. Das Plasmaverarbeitungssystem gemäß dieser Ausführungsform kann im Vergleich zu herkömmlichen Gasverteilungssystemen eine höhere Abscheidungsrate und eine verbesserte Gleichmäßigkeit auf dem Substrat erreichen, indem das siliciumhaltige Prozessgas über dem Substrat konzentriert wird und indem vorzugsweise das Prozessgas auf bestimmte Regionen des Substrats gerichtet wird.

[0055] Gemäß der Erfindung kann die Ätzgleichmäßigkeit von Metall wie zum Beispiel Aluminium, leitfähigen Halbleitermaterialien wie zum Beispiel Polysilizium und dielektrischen Materialien wie zum Beispiel Siliciumdioxid mit Photoresist und Selektivität zu darunter befindlichen Materialien unter Verwendung chemischer Zusammensetzungen auf Halogen- und Halogenkohlenstoffbasis verbessert werden. Im Gegensatz dazu kann eine herkömmliche Injektion durch einen Sprühkopf, der in oder unter einem dielektrischen Fenster eingebaut ist, zu einem ungleichmäßigen Ätzen auf dem Substrat führen, zum Beispiel einem schnellen Resist-Ätzen in der Mitte, was zu einer schlechten Kontrolle über die geätzten Strukturelemente und Profile und zu Unterschieden bei den Strukturelementen in der Mitte und am Rand des Substrats führen kann. Außerdem kann eine Polymerbildung auf dem Sprühkopf zu einer unerwünschten Teilchenausflockung und zur Kontamination auf dem Substrat führen. Zu weiteren Problemen, die mit Sprühkopfanordnungen verbunden sind, gehören die zusätzlichen Kosten für die Herstellung einer Sandwichkonstruktion zum Zuführen von Gas über das Fenster, Temperaturregelung, die Auswirkungen von Gas- oder Plasmaerosion des Sprühkopfes, die Zündung von Plasma in den Gasauslässen des Sprühkopfes oder in dem Spalt zwischen dem Sprühkopf und dem darüber befindlichen Fenster, der Mangel an Prozesswiederholbarkeit, Prozessdrift usw. Im Gegensatz dazu kann eine Randinjektion über einen Gasinjektionsring zu einem schnellen Ätzen am Rand und zu einer Polymerabscheidung an den Kammerwänden führen. Die Selektivitäten von Photoresist zu Oxid betragen in diesen Fällen in der Regel nur 1-4, während 5-10 wünschenswert wären. Der Gasinjektor gemäß der Erfindung kann die Gleichmäßigkeit der Resist-Ätzrate (in der Regel 6 % 3σ) verbessern, und zwar bei gleichzeitigen Selektivitäten von Resist zu Oxid von wenigstens 5, bevorzugt 10 oder mehr. Das vorliegende bevorzugte Injektionsdesign kann somit einen viel gleichmäßigeren Fluss von reaktiven Zwischenprodukten und chemischen Radikalen zur Substratoberfläche bewirken, einschließlich sowohl Ätzspezies, wie zum Beispiel atomisches Chlor und Fluor, als auch Polymerisierungsspezies, wie zum Beispiel C_xF_yH_z-Gase, zum Beispiel CF, CF₂, CF₃ usw.

[0056] In dem Maße, wie die Substrate größer werden, nimmt die Notwendigkeit zu, Gas in die Mitte zu leiten. Injektionssysteme, die Gas über Gasringanordnungen zuführen, können Prozessgas nicht in ausreichendem Maß zur Mitte großflächiger Substrate leiten, wie man sie in der Regel bei der Flachbildschirmverarbeitung vorfindet. Dies gilt insbesondere für unterseitig gepumpte Kammerkonstruktionen, wie man sie gewöhnlich in Plasmaverarbeitungssystemen findet. Im Fall des Plasmaätzens ohne mittige Gaszuführung gemäß der Erfindung können Ätz-Nebenprodukte über der Mitte des Substrats stagnieren,

wobei in einem solchen Fall der Transport im Wesentlichen allein durch Diffusion stattfindet. Dies kann zu einem unerwünschten ungleichmäßigen Ätzen auf dem Substrat führen. Gemäß der Erfindung wird Prozessgas in die Plasmaregion injiziert, die der Mitte des Substrats zugewandt ist und sich nahe der Mitte des Substrats befindet. Zum Beispiel können Gasauslässe des Gasinjektors weit genug unterhalb der Innenfläche des Fensters angeordnet sein, so dass die Gasauslässe in das Plasma eintauchen. Die Gasauslässe sind bevorzugt so angeordnet, dass eine ausreichende Diffusion der Ionen und neutralen Spezies stattfindet, um eine gleichmäßige Ätz- oder Abscheidungsrate zu gewährleisten. Dementsprechend kann der Gasinjektor in einer Region angeordnet sein, wo das azimutale elektrische Feld, das durch die TCP™-Wicklung induziert wird, auf Null fällt, wodurch Störungen der Plasmaerzeugungszone minimiert werden. Des Weiteren ist es bevorzugt, dass der Gasinjektor um eine geeignete Distanz, wie zum Beispiel maximal etwa 80 % der Distanz zwischen der Kammerdecke und dem Substrat, eingetaucht ist. Dies gewährleistet, dass die Ionendiffusion von oberen Regionen der Kammer her genügend Raum hat, um die geringere Ionendichte unmittelbar unterhalb des Gasinjektors auszufüllen. Dies minimiert jegliche "Schatten" des Gasinjektors in dem Ionenfluss zum Substrat.

[0057] Die Verwendung des eingetauchten Gasinjektors gestattet die unabhängige Auswahl der mittleren Gaszufuhrposition und des Kammerseitenverhältnisses. Dies unterstützt eine effiziente Ausnutzung von Prozessgas und verbessert die Prozessgaszufuhr zur mittleren Region großflächiger Substrate mit minimaler Störung der Plasmagleichmäßigkeit. Diese Konfiguration ist auch von Vorteil, weil das Anordnen der Gasauslässe nahe dem Substrat den Konvektionstransport im Verhältnis zum Diffusionstransport in der Region unmittelbar über dem Substrat verstärkt. Zusätzlich zur Verbesserung der Zufuhr der Reaktionspartner unterstützt der Gasinjektor den effizienten Transport von Ätz-Nebenprodukten aus der Substratregion heraus, was sich günstig auf die Ätzgleichmäßigkeit und die Profilkontrolle auswirken kann, speziell in Anwendungen auf chemischer Wirkbasis, wie zum Beispiel Aluminiumätzen.

[0058] Die Gasauslässe können jede gewünschte Form haben, wie zum Beispiel einen gleichmäßigen Durchmesser entlang ihrer gesamten Länge oder eine sonstige Form, wie zum Beispiel konisch verjüngte, aufgeweitete Oberflächen oder radial konturierte Oberflächen. Die Gasauslässe können so ausgerichtet sein, dass sie das Gas in jede beliebige Richtung injizieren, zum Beispiel direkt zum Substrat, in einem spitzen Winkel relativ zum Substrat, parallel zum Substrat oder zurück in Richtung der oberen Plasmagrenzfläche (in einem schrägen Winkel relativ zur Längsachse der Düse), oder Kombinationen da-

von. Es ist erwünscht, einen gleichmäßigen Fluss chemischer Radikale und reaktiver Zwischenspezies auf die Substratoberfläche zu erreichen, um gleichmäßige Ätz- und Abscheidungsraten über das großflächige Substrat hinweg zu unterstützen.

[0059] Gewünschtenfalls können noch weitere Gasinjektionsanordnungen nahe der Peripherie des Substrats oder von anderen Kammerwänden aus bereitgestellt werden.

[0060] Vorzugsweise gibt es keine scharfen Ecken am distalen Ende des Gasinjektors, um eine örtliche Verstärkung des elektrischen Feldes nahe der Spitze zu verringern. Es kann jedoch Fälle geben, wo eine solche Feldverstärkung von Vorteil sein kann.

Beispiel 1

[0061] Es wurden die statistischen Werte für die Polysiliziumätztiefe (Mittel, Standardabweichung und Streubreite) als eine Funktion des Verhältnisses von axialem zu nicht-axialem Gasstrom gemessen. [Fig. 4a-Fig. 4c](#) zeigen Ätzprofile für einen Gate-Ätzprozess, wobei [Fig. 4a](#) die Auswirkung einer höheren axialen Gasinjektion zeigt und [Fig. 4c](#) die Auswirkung einer höheren nicht-axialen Injektion zeigt. Überwiegend axiale Strömungsbedingungen erbrachten eine Ätztiefe von $212,9 \pm 4,7$ nm ($\pm 2,2$ %) und eine Streubreite von 18,3 nm ($\pm 1,4$ %) (siehe Polysiliziumätzergebnisse in [Fig. 4a](#)). Überwiegend nicht-axiale Strömungsbedingungen erbrachten eine Ätztiefe von $212,6 \pm 5,3$ nm ($\pm 2,5$ %) und eine Streubreite von 22,3 nm ($\pm 1,7$ %) (siehe Polysiliziumätzergebnisse in [Fig. 4c](#)). Eine Mischgasstrombedingung erbrachte im Gegensatz dazu eine deutliche Verbesserung der Ätzgleichmäßigkeit (siehe Polysiliziumätzergebnisse in [Fig. 4b](#)). Unter den Mischstrombedingungen betrug die mittlere Ätztiefe $213,5 \pm 2,3$ nm ($\pm 1,1$ %) mit einer Streubreite von nur 7,7 nm ($\pm 0,6$ %). Bei der Polysiliziumätzung wurden ein $\text{Cl}_2/\text{HBr}/\text{O}_2$ -Strömungsgemisch mit einer Gesamtdurchflussmenge von 420 sccm (Standard- cm^3/min) und ein Kammerdruck von 1,333 Pa (10 mT) verwendet. Die Spitzenleistung der HF-Antenne betrug 800 W mit einer Vorspannung von -155 V an der unteren Elektrode. Der Injektorwinkel betrug 60° .

Beispiel 2

[0062] Es wurden die statistischen Werte für die Siliziumätztiefe (Mittel, Standardabweichung, und Streubreite) als eine Funktion des Verhältnisses von axialem zu nicht-axialem Gasstrom gemessen. [Fig. 5a-Fig. 5c](#) zeigen Ätzratenprofile für einen Gate-Ätzprozess, wobei [Fig. 5a](#) die Auswirkung einer höheren axialen Gasinjektion zeigt und [Fig. 5c](#) die Auswirkung einer höheren nicht-axialen Injektion zeigt. Überwiegend axiale Strömungsbedingungen erbrachten eine Ätztiefe von $1299 \text{ \AA} \pm 27 \text{ \AA}$ ($\pm 2,1$ %)

und eine Streubreite von 74 Å ($\pm 1,0$ %) (siehe Polysiliziumätzergebnisse in [Fig. 5a](#)). Eine Mischgasstrombedingung erbrachte eine Ätztiefe von 1295 Å ± 23 Å ($\pm 1,8$ %) und eine Streubreite von 76 Å ($\pm 1,0$ %) (siehe Polysiliziumätzergebnisse in [Fig. 5b](#)). Überwiegend nicht-axiale Strömungsbedingungen erbrachten eine deutliche Verbesserung der Ätzgleichmäßigkeit (siehe Polysiliziumätzergebnisse in [Fig. 5c](#)). Unter den nicht-axialen Strömungsbedingungen betrug die mittlere Ätztiefe 1272 Å ± 14 Å ($\pm 1,1$ %), mit einer Streubreite von 41 Å ($\pm 0,53$ %). Bei der Siliciumätzung wurden ein HBr/O₂-Strömungsgemisch mit einem Kammerdruck von 5,332 Pa (40 mT) und eine Temperatur der unteren Elektrode von 60° verwendet. Die Spitzenleistung der HF-Antenne betrug 1200 W, mit einer Vorspannung von -320 V an der unteren Elektrode. Der Injektorwinkel betrug 45°.

Beispiel 3

[0063] [Fig. 6a-Fig. 6b](#) zeigen die Variation der kritischen Abmessungen (KA) des Polysilizium-Gate als eine Differenz zwischen dem Zustand vor und nach dem Ätzen für zwei verschiedene Gasdurchflussmengenverhältnisse. In [Fig. 6a](#) ist eine erhöhte axiale Durchflussmenge im Vergleich zu der in [Fig. 6b](#) gezeigten erhöhten nicht-axialen Durchflussmenge gezeigt. Der Einsatz einer abstimmbaren Injektion führt zu einer besseren KA-Gleichmäßigkeit. Insbesondere erbringen die in [Fig. 6a](#) gezeigten Ergebnisse eine mittlere KA-Variation von -3,9 nm, eine Standardabweichung von 2,1 nm und eine Streubreite von 7,5 nm, während die in [Fig. 6b](#) gezeigten Ergebnisse eine KA-Variation von -3,4 nm, eine Standardabweichung von 1,6 nm und eine Streubreite von 5,9 nm erbringen.

Beispiel 4

[0064] [Fig. 7a-Fig. 7b](#) zeigen die KA-Variation der Photoresistbeschneidung als eine Differenz zwischen dem Zustand vor und nach dem Ätzen für zwei verschiedene Gasdurchflussmengenverhältnisse. Der Einsatz einer abstimmbaren Injektion führt zu einer besseren KA-Gleichmäßigkeit. Bei dem Prozess wurden ein Cl₂/O₂-Strömungsgemisch mit 100 sccm (Standard-cm³/min) Gesamtströmung bei einem Kammerdruck von 0,6665 Pa (5 mT) und eine Temperatur der unteren Elektrode von 60° verwendet. Die Spitzenleistung der HF-Antenne betrug 385 W, mit einer Eigenvorspannung von -34 V an der unteren Elektrode. Der Injektorwinkel betrug 45°. Insbesondere erbrachten die in [Fig. 7a](#) gezeigten Ergebnisse eine mittlere KA-Variation von -49,3 nm, eine Standardabweichung von 2,5 nm und eine Streubreite von 9,1 nm, während die in [Fig. 7b](#) gezeigten Ergebnisse eine KA-Variation von -47,6 nm, eine Standardabweichung von 2,0 nm und eine Streubreite von 7,5 nm erbrachten.

Beispiel 5

[0065] [Fig. 8a-Fig. 8b](#) zeigen die Variation der kritischen Abmessungen (KA) des Polysilizium-Gate als eine Differenz zwischen dem Zustand vor und nach dem Ätzen für zwei verschiedene Gasdurchflussmengenverhältnisse. [Fig. 8a](#) zeigt auf, dass die mittlere KA-Variation allein durch Verstellen der Gasdurchflussmengenverhältnisse eingestellt werden kann. Es kam ein Zweistufenprozess zum Einsatz, bei dem mit einem Cl₂/HBr/He/O₂-Gemisch gearbeitet wurde: In Schritt 1 betrug der Kammerdruck 1,9995 Pa (15 mT), mit einer Gesamtströmung von 400 sccm (Standard-cm³/min), einer Spitzen- oder Induktionsleistung der Antenne von 575 W und einer Eigenvorspannung von -138 v an der unteren Elektrode. In Schritt 2 betrug der Kammerdruck 3,999 Pa (30 mT), mit einer Gesamtströmung von 575 sccm (Standard-cm³/min), einer Antennenleistung von 750 W und einer Eigenvorspannung von -80 v an der unteren Elektrode. Insbesondere erbrachten die in [Fig. 8a](#) gezeigten Ergebnisse eine mittlere KA-Variation von 0,1 nm, eine Standardabweichung von 2,4 nm und eine Streubreite von 9,5 nm, während die in [Fig. 8b](#) gezeigten Ergebnisse eine KA-Variation von 13,3 nm, eine Standardabweichung von 2,4 nm und eine Streubreite von 8,9 nm erbrachten.

Patentansprüche

1. Plasmaverarbeitungssystem, das Folgendes umfasst:
 eine Plasmaverarbeitungskammer (10);
 eine Vakuumpumpe, die mit der Verarbeitungskammer verbunden ist;
 einen Substratträger (12), auf dem ein Substrat (13) innerhalb der Verarbeitungskammer (10) verarbeitet wird;
 ein dielektrisches Element (20), das eine Wand der Verarbeitungskammer (10) bildet und eine Innenfläche aufweist, die dem Substratträger zugewandt ist;
 ein Gasinjektor (22), der sich dergestalt durch das dielektrische Element (20) hindurch erstreckt, dass ein distales Ende des Gasinjektors innerhalb der Verarbeitungskammer (10) frei liegt, wobei der Gasinjektor mehrere Gasauslässe (24, 26) umfasst, die innerhalb der Verarbeitungskammer unter der Innenfläche des dielektrischen Elements angeordnet sind und Prozessgas mit Durchflussraten zuleitet, die zwischen wenigstens einigen der Auslässe (24, 26), die in die Verarbeitungskammer hineinführen, unabhängig verändert werden können (36a, 36b);
 und
 eine HF-Energiequelle (18, 19), die induktiv HF-Energie durch das dielektrische Element (20) hindurch und in die Kammer hinein koppelt, um das Prozessgas mit Energie zu beaufschlagen, um es in einen Plasmazustand zu versetzen, um das Substrat (13) zu verarbeiten.

2. System gemäß Anspruch 1, wobei das System ein chemisches Dampfabscheidungssystem für hochdichtes Plasma oder ein Ätzsystem für hochdichtes Plasma ist.

3. System gemäß Anspruch 1, wobei die HF-Energiequelle eine HF-Antenne (18) umfasst und der Gasinjektor (22) das Prozessgas in Richtung einer Primärplasmaerzeugungszone in der Kammer injiziert.

4. System gemäß Anspruch 1, wobei die Gasauslässe (24, 26) einen einzelnen axialen Auslass in einer axialen Endfläche des Gasinjektors und mehrere nicht-axiale Auslässe (26) in einer Seitenfläche des Gasinjektors umfassen, der axiale Auslass (24) und die nicht-axialen Auslässe (26) Prozessgas aus einer einzelnen Gaszufuhr über eine erste und eine zweite Gasleitung zuführen, wobei die Gasleitungen Durchflussmengenregler (36a, 26b) umfassen, die einen verstellbaren Gasstrom zu dem axialen Auslass (24) unabhängig von den nicht-axialen Auslässen (26) bereitstellen.

5. System gemäß Anspruch 1, wobei die Gasauslässe einen mittigen Gasauslass (24), der sich in einer axialen Richtung senkrecht zu der exponierten Oberfläche des Substrats erstreckt, und mehrere gewinkelte Gasauslässe (26) umfassen, die sich in einem spitzen Winkel zu der axialen Richtung erstrecken, wobei der mittige Gasauslass Prozessgas empfängt, das durch eine erste Gasleitung zugeführt wird, und die gewinkelten Gasauslässe Prozessgas von einer zweiten Gasleitung empfangen, wobei die erste und die zweite Gasleitung Prozessgas aus derselben Gaszufuhr empfangen.

6. System gemäß Anspruch 1, wobei der Gasinjektor (22) das Prozessgas mit einer Unterschall-, Schall- oder Überschallgeschwindigkeit injiziert.

7. System gemäß Anspruch 1, wobei der Gasinjektor (22) eine planare axiale Endfläche mit einem darin ausgebildeten axialen Auslass (24) und eine konische Seitenfläche mit darin ausgebildeten nicht-axialen Auslässen umfasst, wobei der axiale Auslass Prozessgas aus einem mittigen Durchlass (25) in dem Injektor empfängt und die nicht-axialen Auslässe Prozessgas aus einem ringförmigen Durchlass empfangen, der den mittigen Durchlass umgibt.

8. System gemäß Anspruch 1, wobei der Gasinjektor (22) herausnehmbar in einem dielektrischen Fenster (20) montiert ist und das Prozessgas in eine mittige Region der Kammer einleitet.

9. System gemäß Anspruch 1, wobei der Gasinjektor (22) wenigstens einen axialen Auslass (24), der Prozessgas in einer axialen Richtung senkrecht zu einer Ebene parallel zu einer exponierten Oberfläche

che des Substrats (13) injiziert, und nicht-axiale Gasauslässe (26) umfasst, die Prozessgas in einem spitzen Winkel relativ zu der Ebene parallel zu der exponierten Oberfläche des Substrats injizieren.

10. System gemäß Anspruch 1, wobei der Gasinjektor (22) herausnehmbar in der Öffnung in einem dielektrischen Fenster (20) montiert ist und eine Vakuumdichtung zwischen dem Gasinjektor und dem dielektrischen Fenster angeordnet ist.

11. System gemäß Anspruch 1, wobei die HF-Energiequelle eine HF-Antenne (18) in Form einer planaren oder nicht-planaren Spiralwicklung umfasst und der Gasinjektor das Prozessgas in Richtung einer Primärplasmaerzeugungszone in der Kammer injiziert.

12. System gemäß Anspruch 1, wobei eine einzelne Hauptgaszufuhr (32) in mehrere Gaszufuhrleitungen (34) aufgeteilt wird, um die Gasauslässe zu speisen.

13. System gemäß Anspruch 1, wobei das Verhältnis des Gasstromes durch wenigstens einige der Gasauslässe mit Hilfe von variablen Durchflussbegrenzungsvorrichtungen (36a, 36b) unabhängig veränderbar ist.

14. System gemäß Anspruch 1, wobei das Verhältnis des Gasstromes durch wenigstens einige der Gasauslässe unabhängig mit Hilfe eines Netzwerks aus Ventilen und Drosselementen veränderbar ist.

15. System gemäß Anspruch 1, wobei der Gasinjektor (22) des Weiteren mit einer elektrisch leitfähigen Abschirmung (40, 40') versehen ist, die eine Plasmazündung innerhalb von Gasdurchlässen, die sich in dem Gasinjektor befinden, minimiert.

16. System gemäß Anspruch 1, wobei das System ein Plasmaätzsystem ist.

17. System gemäß Anspruch 4, wobei die nicht-axialen Auslässe in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und die Gesamtzahl der nicht-axialen Auslässe 3 oder 4 ist.

18. System gemäß Anspruch 4, wobei die nicht-axialen Auslässe 45° voneinander beabstandet sind.

19. Verfahren der Plasmaverarbeitung eines Substrats, umfassend:

Anordnen eines Substrats auf einem Substratträger in einer Verarbeitungskammer, wobei eine Innenfläche eines dielektrischen Elements, das eine Wand der Verarbeitungskammer bildet, dem Substratträger zugewandt ist;
Zuführen von Prozessgas in die Verarbeitungskam-

mer aus einem Gasinjektor, der sich dergestalt durch das dielektrische Element hindurch erstreckt, dass ein distales Ende des Gasinjektors innerhalb der Verarbeitungskammer exponiert ist, wobei der Gasinjektor mehrere Gasauslässe umfasst, die innerhalb der Verarbeitungskammer unter der Innenfläche des dielektrischen Elements angeordnet sind und dem Zuführen von Prozessgas in die Verarbeitungskammer dienen;
 Steuern der Durchflussrate des Prozessgases zu wenigstens einem der Auslässe unabhängig von der Durchflussrate des Prozessgases zu wenigstens einem anderen der Auslässe;
 Beaufschlagen des Prozessgases mit Energie, so dass es einen Plasmazustand annimmt, durch induktives Koppeln von HF-Energie, die durch eine HF-Energiequelle erzeugt wird, durch das dielektrische Element hindurch in die Verarbeitungskammer hinein, wobei das Prozessgas mit einer exponierten Oberfläche des Substrats plasmaphasenreagiert wird.

20. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei die HF-Energiequelle eine HF-Antenne in Form einer planaren oder nicht-planaren Spiralwicklung umfasst und der Gasinjektor einen Teil des Prozessgases durch einen axialen Auslass zu einer mittigen Zone in der Kammer und durch nicht-axiale Auslässe zu einer ringförmigen Zone, welche die mittige Zone umgibt, injiziert.

21. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei wenigstens einige der Gasauslässe das Prozessgas in eine andere Richtung injizieren als direkt in Richtung der exponierten Oberfläche des Substrats.

22. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei sich der Gasinjektor unter einer Innenfläche eines dielektrischen Fensters erstreckt und die Gasauslässe das Prozessgas in mehrere Richtungen injizieren.

23. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei der Gasinjektor das Prozessgas mit einer Unterschall-, Schall- oder Überschallgeschwindigkeit injiziert.

24. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei einzelne Substrate aufeinanderfolgend in der Verarbeitungskammer durch Abscheiden oder Ätzen einer Schicht auf jedem der Substrate verarbeitet werden.

25. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei sich der Gasinjektor in einen mittigen Abschnitt der Kammer erstreckt und die Gasauslässe das Prozessgas in mehrere Zonen zwischen der exponierten Oberfläche des Substrats und der Innenfläche des dielektrischen Elements injizieren.

26. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei die Gasauslässe einen mittigen axialen Gasauslass im distalen Ende des Gasinjektors und mehrere nicht-axiale Gasauslässe, die den axialen Gasaus-

lass umgeben, umfassen, wobei die nicht-axialen Gasauslässe das Prozessgas in mehrere unterschiedliche Richtungen injizieren.

27. Verfahren gemäß Anspruch 19, umfassend das Plasmaätzen einer Aluminiumschicht auf dem Substrat durch Injizieren eines chlorhaltigen Gases durch die Gasauslässe, wobei wenigstens einige der Gasauslässe das Gas in eine Richtung injizieren, die nicht senkrecht zu der exponierten Oberfläche des Substrats ist.

28. Verfahren gemäß Anspruch 19, umfassend das Plasmaätzen einer Polysiliziumschicht auf dem Substrat durch Injizieren eines chlor- und/oder bromhaltigen Gases durch einen mittigen Gasauslass in einer axialen Richtung, die senkrecht zu der exponierten Oberfläche des Substrats ist, und durch mehrere gewinkelte Gasauslässe, die den mittigen Auslass umgeben, wobei die gewinkelten Gasauslässe das Gas in Richtungen injizieren, die in einem Winkel von 10 bis 90° zu der axialen Richtung ausgerichtet sind.

29. Verfahren gemäß Anspruch 19, umfassend das Plasmaätzen einer Siliziumoxidschicht auf dem Substrat durch Injizieren eines fluorhaltigen Gases durch einen mittigen Gasauslass in einer axialen Richtung, die senkrecht zu der exponierten Oberfläche des Substrats ist, und/oder durch mehrere gewinkelte Gasauslässe, die den mittigen Auslass umgeben, wobei die gewinkelten Gasauslässe das Gas in Richtungen injizieren, die in einem Winkel von 10 bis 90° zu der axialen Richtung ausgerichtet sind.

30. Verfahren gemäß Anspruch 19, umfassend das Plasmaätzen einer Polysiliziumschicht auf dem Substrat durch Injizieren eines chlor- und/oder bromhaltigen Gases durch einen mittigen Gasauslass in einer axialen Richtung, die senkrecht zu der exponierten Oberfläche des Substrats ist, und durch mehrere gewinkelte Gasauslässe, die den mittigen Auslass umgeben, wobei die gewinkelten Gasauslässe das Gas in Richtungen injizieren, die in einem Winkel von 10 bis 45° zu der axialen Richtung ausgerichtet sind.

31. Verfahren gemäß Anspruch 19, umfassend das Plasmaätzen einer Siliziumoxidschicht auf dem Substrat durch Injizieren eines fluorhaltigen Gases durch einen mittigen Gasauslass in einer axialen Richtung, die senkrecht zu der exponierten Oberfläche des Substrats ist, und/oder durch mehrere gewinkelte Gasauslässe, die den mittigen Auslass umgeben, wobei die gewinkelten Gasauslässe das Gas in Richtungen injizieren, die in einem Winkel von 10 bis 45° zu der axialen Richtung ausgerichtet sind.

32. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei eine einzelne Hauptgaszufuhr in mehrere Gaszufuhrlei-

tungen aufgeteilt ist, um die Gasauslässe zu speisen.

33. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei das Verhältnis des Gasstromes durch wenigstens einige der Gasauslässe mit Hilfe von variablen Durchflussbegrenzungsvorrichtungen unabhängig veränderbar ist.

34. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei das Verhältnis des Gasstromes durch wenigstens einige der Gasauslässe unabhängig mit Hilfe eines Netzwerks aus Ventilen und Drosselementen veränderbar ist.

35. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei das Verhältnis des Gasstromes durch wenigstens einige der Gasauslässe unabhängig verändert wird, um eine Schicht auf dem Substrat zu ätzen.

36. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei das Verhältnis des Gasstromes durch wenigstens einige der Gasauslässe unabhängig verändert wird, um eine Schicht auf dem Substrat abzuscheiden.

37. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei der Gasinjektor des Weiteren mit einer elektrisch leitfähigen Abschirmung versehen ist, die eine Plasmazündung innerhalb von Gasdurchlässen, die sich in dem Gasinjektor befinden, minimiert.

38. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei die exponierte Oberfläche des Substrats plasmageätzt wird.

39. Verfahren gemäß Anspruch 26, wobei die nicht-axialen Auslässe in Umfangsrichtung voneinander beabstandet sind und die Gesamtzahl der nicht-axialen Auslässe 3 oder 4 ist.

40. Verfahren gemäß Anspruch 22, wobei die nicht-axialen Auslässe 45° voneinander beabstandet sind.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

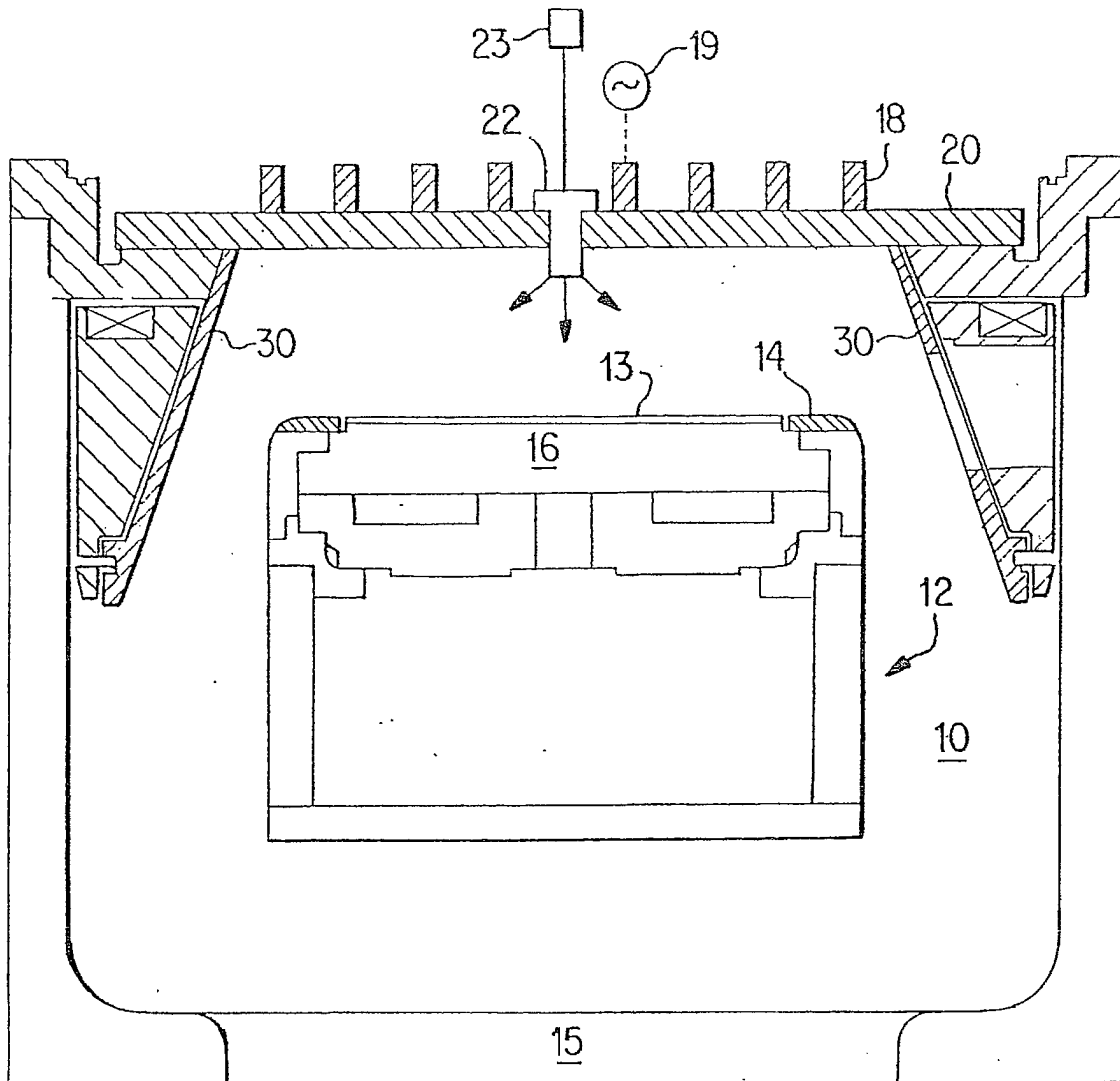


FIG. 1

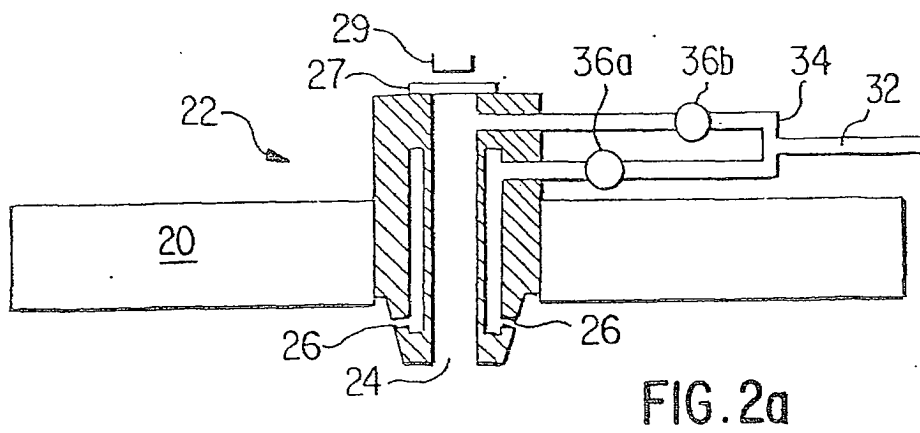


FIG. 2a

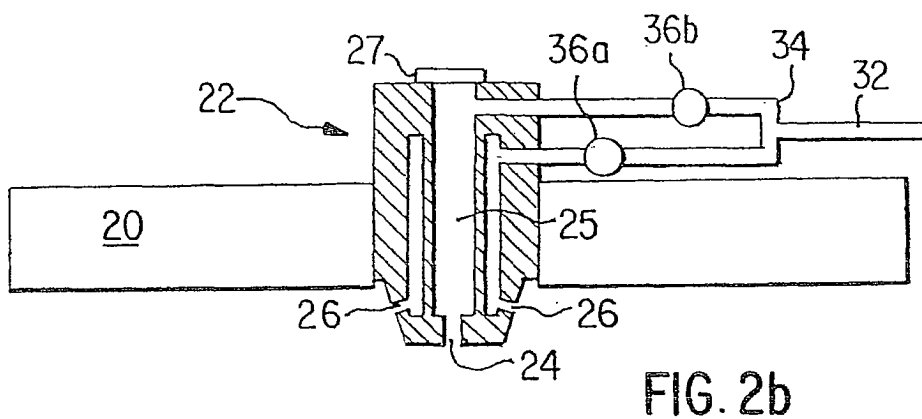


FIG. 2b

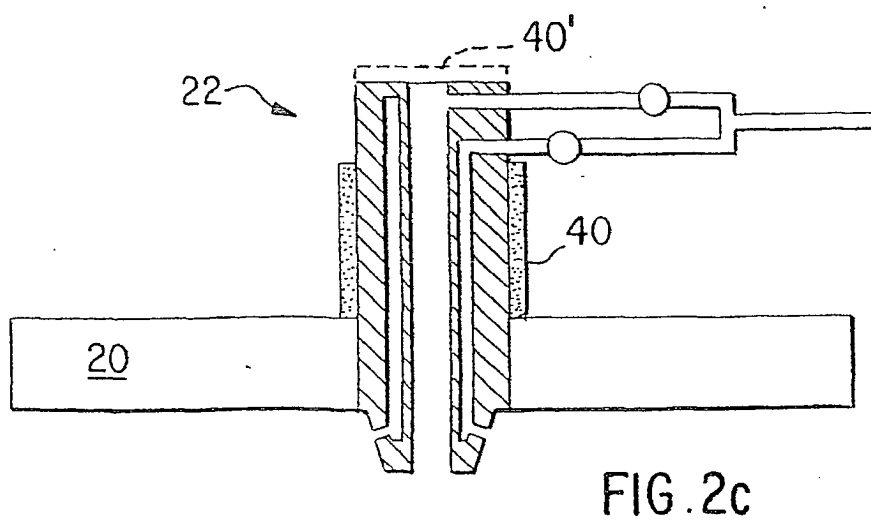


FIG. 2c

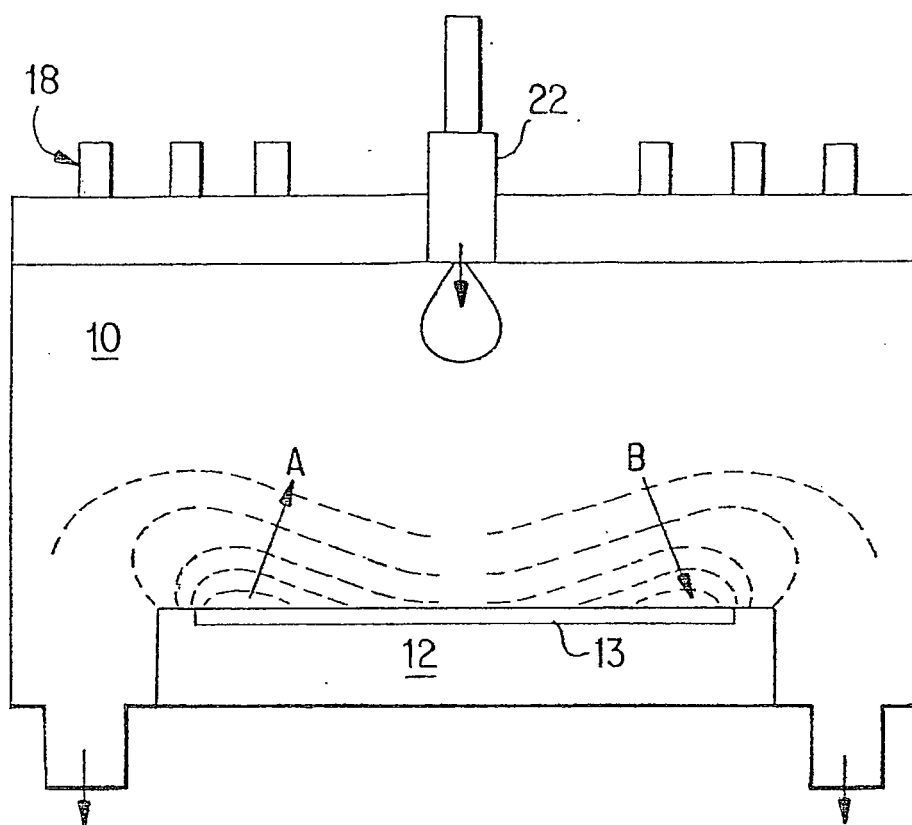
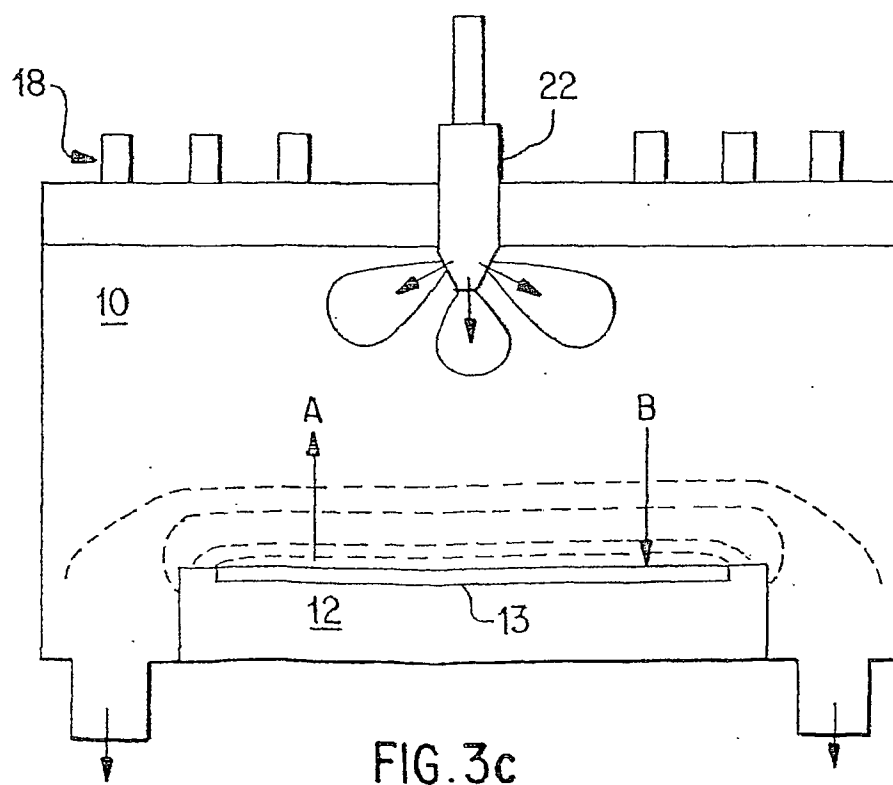
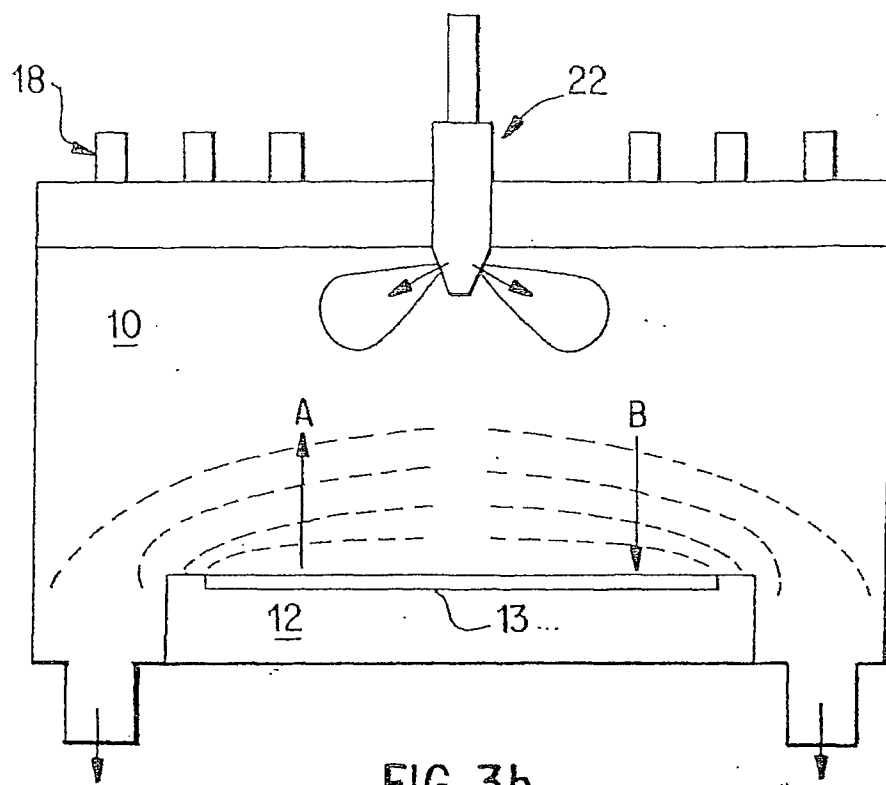


FIG. 3a



219.1
216.3
213.5
210.7
208.0
205.2
202.4
199.6
196.8

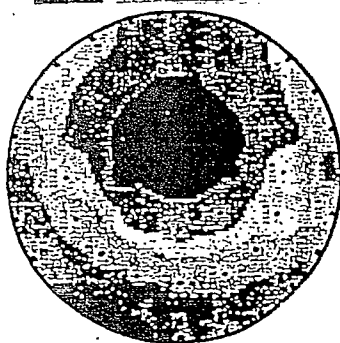


FIG. 4a

219.1
216.3
213.5
210.7
208.0
205.2
202.4
199.6
196.8

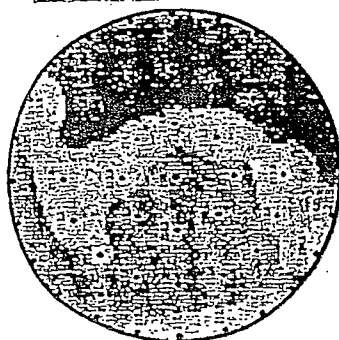


FIG. 4b

219.1
216.3
213.5
210.7
208.0
205.2
202.4
199.6
196.8



FIG. 4c

1360
1345
1330
1315
1300
1285
1270
1255
1240

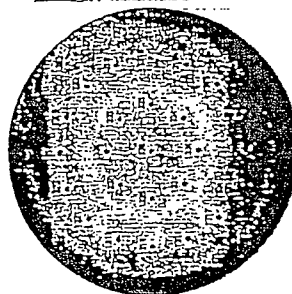


FIG. 5a

1360
1345
1330
1315
1300
1285
1270
1255
1240

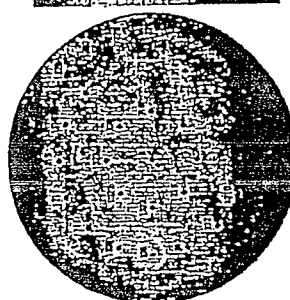


FIG. 5b

1360
1345
1330
1315
1300
1285
1270
1255
1240

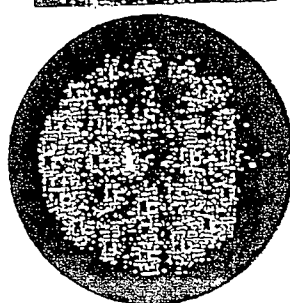


FIG. 5c

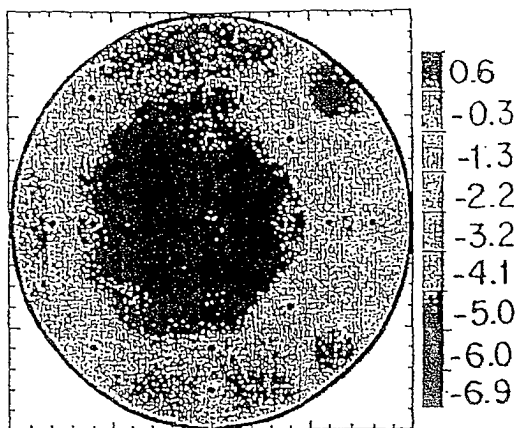


FIG. 6a

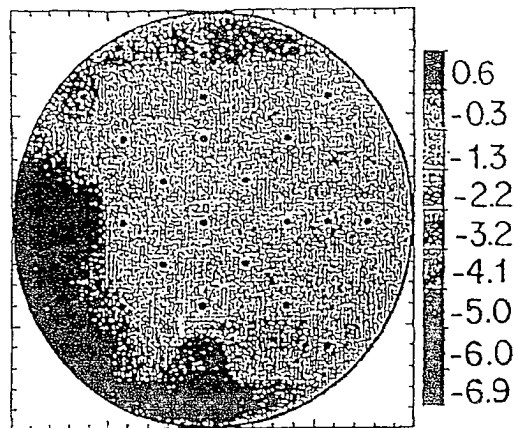


FIG. 6b

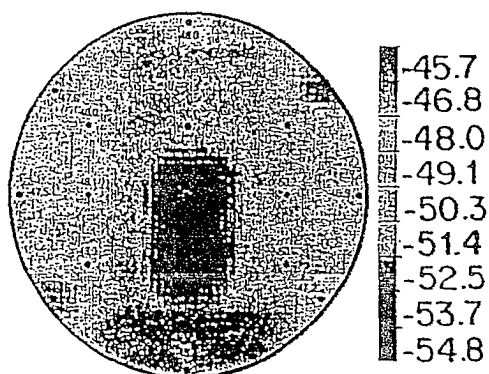


FIG. 7a

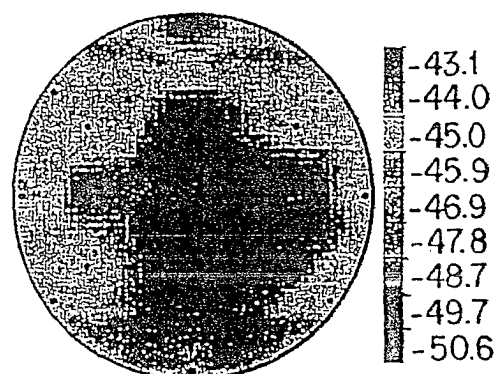


FIG. 7b

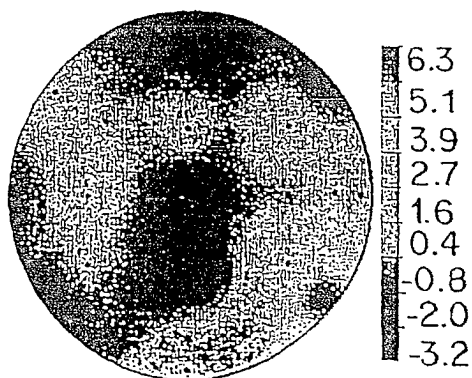


FIG. 8a

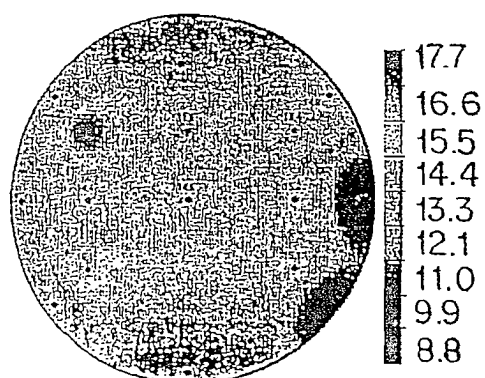


FIG. 8b