



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 09 248 T2 2004.05.27**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 053 563 B1**

(51) Int Cl.⁷: **H01J 37/32**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 09 248.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/02224**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 904 542.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/040607**

(86) PCT-Anmeldetag: **02.02.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **12.08.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.11.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **02.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.05.2004**

(30) Unionspriorität:
18448 04.02.1998 US

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

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

(72) Erfinder:
**WINNICZEK, W., Jaroslaw, Daly City, US; VAHEDI,
Vahid, Albany, US**

(74) Vertreter:
**Mitscherlich & Partner, Patent- und
Rechtsanwälte, 80331 München**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR VERMINDERUNG DER EROSION EINER MASKE WÄHREND EINES PLASMA-
ÄTZENS**

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

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft die Herstellung integrierter Halbleiterschaltungen (IC's). Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere Techniken zur Verminderung der Maskenerosion während der Ätzung von Strukturen in eine Substratschicht.

[0002] Mehrfache Auftragungs- und/oder Ätzschritte können während der Herstellung eines auf Halbleiter basierenden Produkts, z. B. eines Flach-Displaypanels oder einer integrierten Schaltung, angewendet werden. Während des Auftragungsschrittes werden Materialien auf einer Substratoberfläche (wie die Oberfläche eines Glaspanels oder eines Wafers) aufgetragen. Umgekehrt kann das Ätzen angewendet werden, um Materialien von bestimmten Bereichen der Substratoberfläche zu entfernen.

[0003] Üblicherweise wird eine aus einem geeigneten Maskenmaterial, wie Photolack, geformte Maske während des Ätzens verwendet, um in der darunter liegenden Schicht zu ätzende Bereiche zu definieren. In einer beispielhaften Photolacktechnik wird das Photolackmaterial erst auf die darunter liegende zu ätzende Schicht aufgetragen. Dann wird das Photolackmaterial durch Belichtung des Photolackmaterials in einem geeigneten Lithographiesystem und durch Entwickeln des Photolackmaterials strukturiert, um eine Maske zu formen und die folgende Ätzung zu erleichtern. Unter Verwendung eines entsprechenden Ätzmittels können dann Bereiche der darunter liegenden Schicht, die von der Maske ungeschützt sind, mittels einem geeigneten Ätzmittel-Quellengases weggeätzt werden, wodurch Strukturen, wie Vertiefungen oder Pfade, in der darunter liegende Schicht geformt werden.

[0004] Zur Veranschaulichung zeigt **Fig. 1** einen beispielhaften Substratstapel **100** mit einer Maske **102**, einer darunter liegenden Schicht **104** und einem Substrat **106**. Die Maske **102** kann, wie erwähnt, eine Photolackmaske sein oder aus irgendeinem geeigneten Maskenmaterial, einschließlich harten Maskenmaterialien, geformt sein. Die darunter liegende Schicht **104** entspricht der bzw. den Schichten, die geätzt werden sollten. Obwohl die darunter liegende Schicht **104**, je nach der spezifischen Anwendung, aus jedem ätzbaren Material, einschließlich z. B. Polysilizium, Metall oder Ähnlichem gebildet sein kann, entspricht die darunter liegende Schicht **104** zur einfacheren Erläuterung hier einer dielektrischen Schicht (z. B. einer dotierten oder undotierten, Siliziumdioxid enthaltenden Schicht). Das Substrat **104** enthält die Schichten und Merkmale, die der zu ätzenden Schicht zugrunde liegen und kann den Halbleiterwafer oder das Glaspanel selbst enthalten. Die Zusammensetzung des Substrats **104** ist jedoch für die vorliegende Erfindung nicht relevant.

[0005] Innerhalb der Maske **102** ist eine Öffnung **108** dargestellt, die während des Maskenmusterformungsprozesses erzeugt wurde. Durch die Öffnung **108** reagieren Ätzmittel (oder aus einem solchen Ätz-

mittel gebildetes Plasma) mit dem Material der darunter liegenden Schicht **104**, um Strukturen (z. B. Pfade und Vertiefungen) in die darunter liegende Schicht **104** zu ätzen.

[0006] Die Herausforderung bei jeder Ätzung besteht darin, einen Ätzprozess anzugeben, der eine hohe Ätzrate durch die darunter liegende Schicht **104** bei Erhaltung des gewünschten vertikalen Ätzprofils und ohne Verursachung einer übermäßigen Beschädigung der Schutzmaske erzielen kann. Die letztere Überlegung ist besonders wichtig, weil, wenn die Maske versehentlich während des Ätzens beschädigt wird, die Bereiche der darunter liegenden Schicht, die unterhalb des Schutzmaskenmaterials angeordnet sind, unerwünscht weggeätzt werden könnten, was zu Fehlern in dem resultierenden halbleiterbasierenden Produkt führt.

[0007] Zur Veranschaulichung des Maskenerosionsproblems zeigt **Fig. 2** das Ergebnis der Ätzung, nachdem der Substratstapel **100** mit Hilfe eines konventionellen plasmaverbesserten Ätzungsprozess geätzt wurde. Wie in **Fig. 2** gezeigt, bewirkt die Maskenerosion, das etwas von der Maske **102**, als Dicke **202** dargestellt, entfernt wird. In der Umgebung der Öffnung **108** in der Maske **102** ist das Maskenmaterial sowohl in der vertikalen Richtung (welches den Massenverlust **202** bewirkt) als auch in der horizontalen Richtung in Form der Facette **206** erodiert. Obwohl in **Fig. 2** nicht gezeigt, könnte eine übermäßige Maskenerosion eine Facette schaffen, die groß genug ist, so dass das darunter liegende Material der Schicht **104** dem Ätzmittel ausgesetzt wird, was zu einem unerwünschten Schaden in der darunter liegenden Schicht **104** in der Umgebung der Öffnung **108** führt.

[0008] Die Maskenerosion ist eine noch größere Herausforderung bei der Herstellung von modernen integrierten Schaltkreisen mit hoher Dichte. Moderne integrierte Schaltkreise werden, um eine größere Schaltkreisdichte zu erreichen, mit zunehmend engeren Entwurfsregeln skaliert. Als Ergebnis hat die Minimaltrennung zwischen benachbarten Einheiten auf der integrierten Schaltung stark abgenommen.

[0009] Beispielsweise ist es nicht ungewöhnlich, Entwurfsregeln so klein wie 0,18 µm oder noch kleiner bei der Herstellung einiger integrierter Schaltungen mit hoher Dichte zu verwenden. Da benachbarte Einheiten enger zusammengepackt werden, besteht eine Begrenzung der maximal zulässigen Dicke der Maskenschicht. Beispielsweise könnte, wenn die Maske für eine gegebene Entwurfsregel übermäßig dick ist, es nicht möglich sein, die Maske für das Ätzen richtig zu mustern (strukturieren). Da die Maskenschicht, um den engen Entwurfsregeln integrierter Schaltungen mit hoher Dichte zu genügen, dünner und dünner wird, wird die Maskenselektivität immer wichtiger, um die unbeabsichtigte Maskenerosion zu verhindern. Dementsprechend gibt es einen Bedarf für einen Ätzungsprozess, der die allgemeine Ätzrate und die Maskenselektivität maximieren kann, wäh-

rend das gewünschte vertikale Ätzprofil aufrecht erhalten wird.

[0010] Die EP-A-0734046 offenbart die Verwendung einer Bias-Amplitudenmodulation, aber offenbart nicht die Verwendung eines flurkohlenwasserstoffhaltigen Gases.

[0011] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Verbesserung der Photolackselektivität während des Ätzens eines Pfades in einer unter der Maske liegenden dielektrischen Schicht mittels einer Photolackwäsche geschaffen, wobei die dielektrische Schicht auf einem auf einer Spannvorrichtung innerhalb einer Plasmaverarbeitungskammer platzierten Substrat angeordnet ist, mit den Schritten:

Einströmen eines Ätzmittelquellengases in die Plasmaverarbeitungskammer, wobei das Ätzmittelquellengas ein flurkohlenwasserstoffhaltiges Gas und ein im Wesentlichen nicht reaktionsfähiges Gas enthält, Bilden eines Plasmas aus dem Ätzmittelquellengas, und

Bereitstellen eines gepulsten RF-Leistungs(signal)verlaufes, der eine erste Frequenz aufweist und zwischen einem Hoch- und einem Niedrig-Leistungszyklus in einer Pulsfrequenz wechselt, zu der Spannvorrichtung, wobei ein maximales Leistungsniveau während des Niedrig-Leistungszyklus und die Pulsfrequenz so gewählt werden, das Polymer während des Niedrig-Leistungszyklus auf die Maske aufgebracht wird.

[0012] Die vorliegende Erfindung wird unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert, in denen zeigen:

[0013] **Fig. 1** zur Veranschaulichung beispielhaft einen Substratstapel mit der Maske, der darunter liegende zu ätzende Schicht und dem Substrat,

[0014] **Fig. 2** das Ergebnis nach der Ätzung des in **Fig. 1** gezeigten Substratstapels bei Verwendung eines herkömmlichen plasmaverbesserten Ätzungsprozesses.

[0015] **Fig. 3** eine vereinfachte schematische Darstellung des TCP™ 9100 Plasmaverarbeitungssystems, welches für die Ausführung der vorliegenden Erfindung geeignet ist.

[0016] **Fig. 4** der kontinuierliche RF-Leistungs(signal)verlauf gemäß dem Stand der Technik,

[0017] **Fig. 5** den gepulsten RF-Leistungs(signal)verlauf, der der Spannvorrichtung zur Reduzierung der Maskenerosion während des Ätzens zugeführt wird,

[0018] **Fig. 6** ein beispielhaftes Kurvendiagramm der Ätzrate über der RF-Bias-Leistung für einen hypothetischen Ätzungsprozess zur Veranschaulichung der konkurrierenden Mechanismen, die während der Plasmaätzung existieren und

[0019] **Fig. 7 bis 9** verschiedene Ätzungsergebnisse bei unterschiedlichen RF-Bias-Leistungseinstellungen.

[0020] Die vorliegende Erfindung wird nun im Detail mit Bezug auf einige in den begleitenden Zeichnungen erläuterten bevorzugten Ausführungsbeispielen

beschrieben. In der folgenden Beschreibung werden zahlreiche spezifische Details für ein gutes Verständnis der vorliegenden Erfindung hervorgehoben. Es ist jedoch dem Fachmann offensichtlich, dass die vorliegende Erfindung ohne einige oder alle dieser spezifischen Details ausgeführt werden könnte. Andererseits sind allgemein bekannte Verfahrensschritte und/oder Strukturen nicht im Detail beschrieben worden, um die vorliegende Erfindung nicht zu verschleiern.

[0021] Entsprechend einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wird die Erosion der Maske durch Ätzung des Substratstapel (Substratstack) mit gepulster RF-Bias-Leistung in einem Plasmaverarbeitungssystem vorteilhaft minimiert. Der Ausdruck „Maske“ umfasst hierbei alle Arten von Maskierungsmaterialien einschließlich z. B. Polysilizium, Photolack, Hartmaskenmaterialien oder dergleichen. Die Ätzung findet, während das Substrat auf einer Spannvorrichtung innerhalb der Plasmaverarbeitungskammer angeordnet ist, statt. Die gepulste HF- bzw. RF-Bias-Leistung, welche eine vordefinierte RF-Frequenz hat, wird an der Spannvorrichtung bereitgestellt und wechselt zwischen einem hohen Leistungsniveau und einem niedrigen Leistungsniveau bei einer bestimmten Pulsfrequenz. Durch Auswahl der geeigneten Pulsfrequenz, des Betriebszyklus und des Leistungsniveaus kann, um eine Polymerablagerung auf der Maskenoberfläche während die gepulste RF-Bias-Leistung in dem Niedrig-Leistungszyklus ist zu ermöglichen, kann die gesamte Maskenerosion reduziert werden. Während des Hoch-Leistungszyklus erfolgt die Ätzung der darunter liegenden Schicht durch die Öffnungen in der Maske. In einer Ausführung der vorliegenden Erfindung kann das Ätzprofil durch Auswahl der entsprechenden Pulsfrequenz, des Betriebszyklus und der Leistungsniveaus während des Hoch-Leistungszyklus so verbessert werden, dass bevorzugt das gesamte entlang der Seitenwände der Strukturen und an dem Boden der zu ätzenden Struktur befindliche Polymer entfernt wird.

[0022] Es wird davon ausgegangen, dass die Maskenerosionsverringerungstechnik der vorliegenden Erfindung bei jedem geeigneten Plasmaverarbeitungssystem angewendet werden kann, bei dem die RF-Stromversorgung zwischen einem Hoch-Leistungsniveau und einem Niedrig-Leistungsniveau gepulst werden kann. Beispielsweise kann die Ätzung gemäß der vorliegenden Erfindung in einigen der bekannten Plasmaverarbeitungsapparate einschließlich jener, die für eine trockene Ätzung ausgebildet sind, Plasmaätzung mittels reaktiver Ionen (RIE), magnetisch verbesserter reaktive Ionenätzung (ME-RIE) oder Ähnlichem, ausgeführt werden. Dies gilt unabhängig davon, ob die Energie zum Plasma mittels kapazitiv gekoppelter paralleler Elektrodenplatten, durch Elektron-Zyklotron-Resonanz(ECR)Quellen, Mikrowellen-Plasma-Quellen, durch induktiv gekoppelter RF-Quellen, wie Helikon, Wendelresonato-

ren und induktive Spulen (planar oder nicht planar) übertragen wird. Die Plasmaverarbeitungssysteme ECR und TCPTM (transformatorgekoppeltes Plasma) sind u. a. von Lam Research Corporation of Fremont, Kalifornien erhältlich.

[0023] In einem Ausführungsbeispiel wird, obwohl, wie oben erwähnt, jedes andere konventionelle und geeignete Plasmaverarbeitungssystem verwendet werden kann, die vorliegende Erfindung in einem TCPTM9100 Plasmareaktor mit niedrigem Druck und hohe Dichte angewendet, der von Lam Research Corporation erhältlich ist. **Fig. 3** zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung des TCMTM9100 Plasmareaktors **300** mit einer Plasmaverarbeitungskammer **302**. Hierbei ist über der Kammer **302** eine Elektrode **304**, die in dem Beispiel in **Fig. 3** als Induktionsspule implementiert ist, angeordnet. Die Spule **304** wird über ein Anpassungsnetzwerk (nicht gezeigt) von einem RF-Generator **306** gespeist. Die zu der Spule **304** gelieferte RF-Leistung kann eine RF-Frequenz von z. B. 13,56 MHz aufweisen.

[0024] Innerhalb der Kammer **302** befindet sich eine Gasverteilungsplatte **308**, die vorzugsweise eine Vielzahl von Löchern für das Verteilen gasförmigen Quellenmaterials, z. B. des Ätzmittelquellengases, in die RF-Induktionsplasmaregion zwischen sich und einem Substrat **310** aufweist. Die gasförmigen Quellenmaterialien können auch von in den Wänden der Kammer eingebauten Öffnungen selbst freigegeben werden. Das Substrat **310** ist in die Kammer **302** eingebracht und auf einer Spannvorrichtung **312** positioniert, die als untere Elektrode fungiert und vorzugsweise mittels einem RF-Generator **314** (auch normalerweise über ein Anpassungsnetzwerk) vorgespannt (bias) wird. Die von dem RF-Generator **314** bereitgestellte RF-Energie kann, obwohl auch andere RF-Frequenzen verwendet werden können, eine RF-Frequenz von z. B. 4 MHz aufweisen. Die Spannvorrichtung **312** kann irgendein geeigneter Werkstückhalter sein und könnte in, z. B. einer elektrostatischen Spannvorrichtung (ESC), einer mechanischen Spannvorrichtung, einer Vakuumspannvorrichtung oder dergleichen implementiert sein. Der Druck in der Kammer **302** während des Plasmaätzens wird vorzugsweise niedrig gehalten, z. B. zwischen ca. $1,4 \times 10 \text{ kg/m}^2$ (1 Torr) und $0,67 \text{ kg/m}^2$ (50 Torr) gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0025] Gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wird die an der Bodenelektrode, z. B. zu der Spannvorrichtung **312**, bereitgestellte RF-Bias-Leistung zwischen einem hohen Leistungsniveau und einem niedrigen Leistungsniveau mit einer bestimmten Pulsfrequenz gepulst, um die Maskenerosion während des Ätzens zu reduzieren. Zur Veranschaulichung dieser Ausführung der vorliegenden Erfindung zeigen **Fig. 4** und **5** den Unterschied zwischen einem kontinuierlichen RF-Bias-Leistungs(signal)verlauf, welche normalerweise gemäß dem Stand der Technik verwendet wird, und dem gepulsten

RF-Bias-Leistungs(signal)verlauf, welche zur Verringerung der Maskenerosion gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird. Wie in **Fig. 4** gezeigt, besitzt der kontinuierliche RF-Leistungs(signal)verlauf gemäß dem Stand der Technik eine definierte RF-Frequenz, z. B. 4 MHz, einen definierten Maximalleistungspegel P_{MAX} und somit einen durchschnittlichen Leistungspegel P_{AV} . Der in **Fig. 4** gezeigte RF-Bias-Leistungsverlauf gemäß dem Stand der Technik wird als kontinuierlich angesehen, da die Amplitude des (Signal)verlaufs (Wellenform) nicht von dem definierten Maximalleistungspegel P_{MAX} während der Ätzung abweicht.

[0026] Die in **Fig. 5** gezeigte RF-Leistung weist ebenfalls eine definierte RF-Frequenz auf (obwohl gemäß der vorliegenden Erfindung eine konstante RF-Frequenz nicht erforderlich ist). Jedoch wechselt im Gegensatz zu dem in **Fig. 4** gezeigten kontinuierlichen RF-Bias-Leistungsverlauf gemäß dem Stand der Technik die in **Fig. 5** gezeigte Maximalamplitude der RF-Bias-Leistungsverlauf zwischen einem Hochleistungspegel $P_{\text{MAX-HOCH}}$ und einem Niedrigleistungspegel $P_{\text{MAX-NIEDRIG}}$. Somit ist die während des Niedrig-Leistungszyklus der Elektrode der Spannvorrichtung bereitgestellte durchschnittliche Leistung ($P_{\text{AV-NIEDRIG}}$) niedriger als die, die während des Hoch-Leistungszyklus der Elektrode der Spannvorrichtung zugeführt wird. Der RF-Bias-Leistungsverlauf alterniert zwischen dem Niedrig-Leistungspegel und dem Hoch-Leistungspegel mit einer definierten Pulsfrequenz f_{PULSE} , welche die Inversion der gezeigten Pulsperiode (**506**) ist. Der Betriebszyklus wird durch das Verhältnis der Dauer des Hoch-Leistungszyklus (**502**) zu der Dauer der Pulsperiode (**506**) definiert.

[0027] Gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung wird die Pulsfrequenz (d. h. die Frequenz, mit der die zu der Elektrode der Spannvorrichtung gelieferte RF-Leistung zwischen dem Hoch-Leistungspegel und dem Niedrig-Leistungspegel variiert) so gewählt, dass sie niedrig genug ist, damit das Polymer während des Niedrig-Leistungszyklus auf die Maskenoberfläche aufgebracht werden kann. Am Anfang des Hoch-Leistungszyklus wirkt dieses aufgebrachte Polymer wie eine Opferschicht, um einen Schutz des darunter liegenden Maskenmaterials zu gewährleisten. Dementsprechend wird, selbst wenn die gesamte Dicke des aufgetragenen Polymers während des Hoch-Leistungszyklus wegerodiert wird, weniger vom Maskenmaterial weggeätzt, da die Präsenz des zu Beginn des Hoch-Leistungszyklus aufgetragenen Polymers die Zeit reduziert, während der das Maskenmaterial dem Ätzungsmittel während diesem Hoch-Leistungspegel ausgesetzt ist.

[0028] Dieser Aspekt der vorliegenden Erfindung ist von der Erkenntnis abgeleitet, dass in den meisten Plasmaätzungsprozessen zwei separate Mechanismen beim Prozeß in Konkurrenz zueinander stehen. Im Allgemeinen bewirkt die während der Ätzung der darunter liegenden Schicht der Elektrode der Spann-

vorrichtung bereit gestellte RF-Leistung, daß Ionen vom Plasma in Richtung der Substratoberfläche beschleunigt werden, um Bereiche der darunter liegenden Schicht, welche durch Öffnungen in der Maske ungeschützt sind, wegzuzäten. Zur gleichen Zeit wird das Polymer entlang der Ätzstruktur der Seitenwände und entlang des Bodens der Ätzstrukturen auf dem Substrat aufgebracht. Die Polymerablagerung dient einigen nützlichen Funktionen, wie z. B. Schutz der Seitenwand vor einem Angreifen des Ätzmittels während der Ätzung und der Erhaltung der Ätzprofile.

[0029] Im Allgemeinen nimmt, wenn die der Elektrode der Spannvorrichtung bereitgestellte RF-Leistung vermindert wird, die Polymerablagerung zu, und es findet weniger Maskenerosion statt (d. h. die Maskenselektivität wird erhöht). Jedoch führt die Verringerung der RF-Leistung an der Elektrode der Spannvorrichtung zu einer nachteilig reduzierten allgemeinen Ätzrate, da die Ionenenergie reduziert ist. Zur Darstellung der Wirkung der RF-Bias-Leistung auf die Ätzrate oder Erosionsrate der Photolackmaske und auf die Ätzrate der darunter liegenden Schicht zeigt **Fig. 6** ein beispielhaftes Diagramm der Ätzrate entsprechend der RF-Bias-Leistung für einen hypothetischen Ätzungsprozess. Der in **Fig. 6** gezeigte RF-Leistungsverlauf ist zum besseren Verständnis als kontinuierlich (d. h. nicht gepulst) angenommen.

[0030] Die Kurve **602** in **Fig. 6** beschreibt die Ätzrate durch die darunter liegende Schicht (z. B. eine dielektrische Schicht, welche sich unter der Maske befindet). Wie in **Fig. 6** gezeigt, tritt eine Ätzung der darunter liegenden Schicht auf, wenn die RF-Bias-Leistung über dem definierten Wert P_A liegt. An dem vordefinierten Wert P_A heben sich der Ätzprozeß und der Polymerablagerungsprozeß gegeneinander auf, was zu einer Ätzrate von 0 für die darunter liegende Schicht führt. Unterhalb des vordefinierten Wertes P_A wird der Polymerablagerungsprozeß der dominante Prozeß und die Polymerablagerung wird ohne Ätzung der darunter liegenden Schicht aufgebaut.

[0031] Die Kurve **604** zeigt die Ätzrate oder die Erosionsrate durch die Maske als eine Funktion der RF-Bias-Leistung. Eine Erosion der Maske erfolgt, wenn die RF-Bias-Leistung über einem definierten Wert P_H liegt. An dem definierten Wert P_B heben sich der Ätzungsprozeß und der Polymerablagerungsprozeß gegeneinander auf, was zu einer Erosionsrate von 0 für die Maske führt. Unterhalb des definierten Wertes P_B wird der Polymerablagerungsprozeß der dominante Prozeß und die Polymerablagerung wird ohne Erosion der Maske aufgebaut.

[0032] Wie in **Fig. 6** gezeigt, kann eine Ätzung der darunter liegenden Schicht weiter in dem Bereich zwischen dem Wert P_A und P_B erfolgen, während die Maskenerosion wesentlich minimiert ist. Jedoch ist, wenn die kontinuierliche RF-Leistung reduziert wird, so dass eine Ätzung nur in diesem Zustand erfolgt, die Ätzrate für einen praktischen Wert zu niedrig. Des weiteren kann, da die Ätzung voranschreitet und die Strukturen tiefer und tiefer werden, die Ätzrate am

Boden der Strukturen sich tatsächlich zu dem Punkt herunter verlangsamen, wo keine Ätzung der darunter liegenden Schicht stattfindet, da immer weniger Ionen den Boden der geätzten Struktur erreichen. Dementsprechend erfolgt die Ätzung gemäß dem Stand der Technik mit der kontinuierlichen RF-Leistungsverlauf-Technik normalerweise mit einer Einstellung der kontinuierlichen RF-Bias-Leistung so, dass sie beträchtlich höher als der Wert P_B ist, um die Ätzrate zu erhöhen und/oder die Fortsetzung der Ätzung sicher zu stellen, wenn die Ätzstruktur tiefer und tiefer wird.

[0033] Entsprechend dieser Erkenntnis wird realisiert, dass die Maskenerosion durch den Wechsel des Leistungspegels der RF-Bias-Leistung zwischen einem Hoch-Leistungspegel (z. B. unterhalb von P_B , wo es dem Polymer möglich ist, sich über der Maske abzulagern) und einem Hoch-Leistungspegel (z. B. oberhalb P_A , wo die Ätzung der darunter liegenden Schicht gesteigert ist, aber die Erosion des Polymers/Maske auch erhöht wird) reduziert werden kann. Es ist von dem Erfinder auch erkannt, dass das während des Niedrig-Leistungszyklus abgelagerte Polymer wie eine Opferschicht wirkt, die zuerst weggerodiert, wenn der Hoch-Leistungszyklus fortgesetzt wird. Auf diese Weise wird die Erosion des Maskenmaterials reduziert, selbst wenn an irgendeinem Punkt während des Hoch-Leistungszyklus alles aufgebrauchte Polymer weggeätzt ist.

[0034] Es ist von dem Erfinder außerdem erkannt, dass die Polymerablagerung allgemein schneller auf der Oberfläche der Maske als am Boden der Ätzstruktur oder entlang der Seitenwände der Struktur stattfindet. Da weniger Polymer entlang der Seitenwände der Struktur und entlang dem Boden der Ätzstruktur während des Niedrig-Leistungszyklus abgelagert wird, reduziert die Präsenz der Polymerablagerung die Ätzrate am Boden der darunter liegenden Schicht nicht bedeutend oder baut das Ätzprofil (aufgrund übermäßiger Seitenwandablagerung) nicht bedeutend ab. In einigen Fällen ist es möglich, die Ätzvorschrift (z. B. den Leistungspegel, den Betriebszyklus, die Pulsfrequenz oder dergleichen) während des Niedrig-Leistungszyklus so zu konfigurieren, dass wenig oder kein Polymer am Boden der Ätzstruktur abgelagert ist (oder um gleich eine Ätzung der darunter liegenden Schicht zu erhalten), während das Polymer über der Maske abgelagert wird. Während des Hochleistungszyklus ist es vorteilhaft, dass die Ätzvorschrift so konfiguriert ist, dass wesentlich das gesamte entlang der Seitenwand der Ätzstruktur und am Boden der Ätzstruktur während des Niedrig-Leistungszyklus abgelagerte Polymer entfernt wird, so dass das Ätzprofil erhalten werden kann und die Ätzung durch die darunter liegende Schicht beschleunigt wird.

[0035] Es ist entscheidend, dass die Pulsperiode niedrig genug ist, um die Polymerablagerung während des Niedrig-Leistungszyklus zu ermöglichen. Wenn die Pulsfrequenz zu hoch ist, z. B. über 1 kHz

bei den meisten Plasmaverarbeitungssystemen, kann die Polymerablagerung während des Niedrig-Leistungszyklus nicht stattfinden. Ohne auf die Theorie einzugehen, wird angenommen, dass die Polymerablagerung nicht sofort nach dem Wechsel vom Hoch Leistungszyklus zu dem Niedrig-Leistungszyklus des RF-Bias-Leistungsverlaufs. Dies wird angenommen weil das Substrat, die Spannvorrichtung und die zugehörige Elektronik eine nicht zu vernachlässigbare Kapazität und eine natürliche Trägheit aufweisen, wenn der RF-Leistungspegel wechselt. Außerdem haben die Ionen vom Plasma gewöhnlich eine nicht zu vernachlässigbare Trägheit und es kann sein, dass einige Zeit verstreicht, bis sie ihre Energie verlieren (d. h. um die Ätzung zu reduzieren). Dementsprechend erfordert es gewöhnlich einige Zeit nach dem Wechsel von dem Hoch-Leistungspegel zu dem Niedrig-Leistungspegel, bevor die Polymerablagerung auf der Maske erfolgt. Auf diese Art würde, es sei denn, die Pulsfrequenz ist niedrig genug, um eine Polymerablagerung zu ermöglichen, lediglich das Oszillieren der RF-Bias-Leistung zwischen einem Hoch-Leistungspegel und einem Niedrig-Leistungspegel nicht zu einer Polymerablagerung führen, die die Maskenselektivität verbessert. Dies gilt, selbst wenn der Betriebszyklus während jedem Niedrig-Leistungszyklus niedrig gehalten wird.

[0036] Die **Fig. 7** bis **9** zeigen die Wirkung auf die Ätzung und den Polymerablagerungsprozeß bei verschiedenen RF-Bias-Leistungspegeln auf einen beispielhaften Substratstapel. Der RF-Bias-Leistungspegel in **Fig. 7** ist auf 0 gesetzt. In diesem Beispiel bewirkt ein Null-RF-Bias-Leistungspegel (oder ein sehr niedriger RF-Bias-Leistungspegel), dass das Polymer auf der Maske **702** entlang der Seitenwände der Ätzstruktur (Pfad **704**) und entlang dem Boden der Ätzstruktur abgelagert wird. Es besteht jedoch die Tendenz, dass mehr Polymer über der Maske **702** als entlang der Seitenwände der Ätzstruktur oder entlang dem Boden der Ätzstruktur abgelagert wird. Während des Hoch-Leistungszyklus wird die Polymerablagerung entlang dem Boden der Ätzstruktur entfernt, damit die Ätzung der darunter liegenden Schicht **706** fortgesetzt werden kann. Die Dicke des aufgetragenen Polymers entlang der Oberseite der Maske verlangsamt die Erosion der Maske während des Hoch-Leistungszyklus.

[0037] Der RF-Bias-Leistungspegel in **Fig. 8** ist höher als der RF-Bias-Leistungspegel in **Fig. 7**, um den Ätzeffekt darzustellen, wenn die RF-Bias-Leistung erhöht wird. In diesem Beispiel wird das Polymer auf der Maske **702** abgelagert. Aufgrund des höheren Bias-Leistungspegel erfolgt nur geringe Polymerablagerung, wenn überhaupt, entlang der Seitenwand der Struktur und entlang dem Boden der Ätzstruktur während des Niedrig-Leistungszyklus. Desweiteren kann eine Ätzung der darunter liegenden Schicht sogar während diesem Niedrig-Leistungszyklus auftreten. Wie zuvor in Bezug auf **Fig. 6** erläutert, kann ein Ät-

zen der darunter liegenden Schicht erfolgen, obwohl die Ablagerung des Polymers auf der Maskenoberfläche anhält. Wenn der Hoch-Leistungszyklus wiederkehrt, setzt sich die Ätzung am Boden der Struktur fort, während die Dicke des abgelagerten Polymers entlang der Oberseite der Maske abnimmt. Die RF-Bias-Leistung in **Fig. 4** ist noch höher als die von **Fig. 7** oder **8** um die Wirkung während des Hoch-Leistungszyklus zu zeigen. Mit einem relativ hohen RF-Bias-Leistungspegel erfolgt eine signifikante Ätzung durch die darunter liegende Schicht **706**. Wenn ein Niedrig-Leistungszyklus diesem Hoch-Leistungszyklus vorangeht, wird der größte Teil (wenn nicht alles) des während dem vorigen Niedrig-Leistungszyklus abgelagerten Polymer vorteilhafterweise entfernt. Obwohl etwas Maskenmaterial beim Ende des Hoch-Leistungszyklus entfernt werden kann, verringert die Präsenz des zu Beginn des Hoch-Leistungszyklus aufgetragenen Polymers die Menge des während diesem Hoch-Leistungszyklus entfernten Maskenmaterials.

[0038] Die Pulsfrequenz kann variiert werden, um das Ätzen entsprechend den Erfordernissen eines speziellen Substratstapels zu optimieren. Allgemein führt eine Senkung der Pulsfrequenz zu einem Anstieg der Rate der Polymerablagerung (und somit der Maskenselektivität). Um den Ätzprozeß weiter zu optimieren, kann der Betriebszyklus variiert werden. Allgemein führt eine Erhöhung des Betriebszyklus zu einer Senkung der Maskenselektivität. Wenn der Betriebszyklus des RF-Bias-Leistungswellenverlaufs die 100%-Marke erreicht, erreicht das Ätzresultat annähernd das des kontinuierlichen RF-Bias-Verlaufs gemäß dem Stand der Technik.

[0039] Wie erwähnt kann der Hoch-Leistungspegel variiert werden, um das gewünschte Ätzresultat während des Hoch-Leistungszyklus zu erreichen. Zum Beispiel führt eine Erhöhung des Hoch-Leistungspegels zu einer Erhöhung der Ätzrate und Verbesserung des vertikalen Ätzprofils trotz einer hohen Maskenerosionsrate. Ebenso kann der Grund-Leistungspegel variiert werden, um die gewünschte Balance zwischen dem Ätzprozeß und dem Polymerablagerungsprozeß während des Niedrig-Leistungszyklus zu erreichen. Zum Beispiel führt eine Erhöhung des Niedrig-Leistungspegels zu einer Steigerung der Ätzrate und Reduzierung der Menge der Polymerablagerung. Wie in **Fig. 7** und **8** gezeigt, führt eine Steigerung des Niedrig-Leistungspegels zu einer Absenkung der Linie **708**. Im Gegensatz führt eine Verringerung des Niedrig-Leistungspegels zur Verringerung der Ätzrate, wodurch eine höhere Polymerablagerung während des Niedrig-Leistungszyklus ermöglicht wird. Wie bereits zuvor erwähnt, kann der Niedrig-Leistungszyklus so ausgewählt werden, dass in einigen Fällen wenig oder keine Polymerablagerung am Boden der Ätzstruktur stattfindet, wodurch jeder nachteilige Effekt auf die Ätzrate durch/in die darunter liegende Schicht minimiert wird, während eine gewisse Polymerablagerung an der Oberseite der Mas-

ke möglich ist (um die Maskenselektivität während des Ätzens zu erhöhen).

Beispiel

[0040] In einer spezifischen Anwendung wird ein 200 mm-Wafer mit einer dielektrischen, z. B. einer Siliziumdioxid enthaltenden, Schicht (z. B. BPSG) in dem oben erwähnten TCP™ 9100 Plasma-Verarbeitungssystem geätzt. Das Maskenmaterial entspricht einer Photolackschicht und das Ätzmittel enthält ein fluorkohlenwasserstoffhaltiges Gas (ein Fluorkohlenwasserstoff-Gas oder ein Hydrofluorkohlenwasserstoff-Gas wie C_2HF_5). Bekannterweise hängt jedoch die Wahl des spezifischen Ätzmittels von der gewählten Ätzvorschrift und/oder der Zusammensetzung der darunter liegenden zu ätzenden Schicht ab.

[0041] Der Hoch-RF-Bias-Leistungspegel liegt bei etwa 1600 Watt. Der Hoch RF-Bias-Leistungspegel kann jedoch optimiert werden, um eine zweckmäßige dielektrische Gesamtätzrate, Photolackselektivität, ein gewünschtes Ätzprofil in einem gegebenen System und/oder für einen gegebenen Substratstapel zu erhalten. Der Hoch-RF-Bias-Leistungspegel kann zwischen ca. 600 und ca. 2.500 Watt liegen. Der Niedrig-Leistungspegel kann zwischen ca. 0 Watt und ca. der Hälfte des Hoch Leistungspegels, bevorzugt zwischen ca. 0 Watt und ca. 1/5 des Hoch-Leistungspegels liegen. In diesem Ausführungsbeispiel liegt der Niedrig-Leistungspegel bei ca. 150 Watt.

[0042] Der Betriebszyklus kann zwischen ca. 10% und jedem Wert unter 100%, bevorzugt zwischen ca. 30% und 75%, liegen. In diesem Beispiel liegt der Betriebszyklus bei ca. 50%. Die Pulsperiode kann zwischen ca. 0,1 Hz und jedem Wert unter ca. 1.000 Hz, bevorzugt zwischen ca. 1 Hz und 100 Hz, besser bei etwa 5 Hz, liegen.

[0043] In diesem Ausführungsbeispiel wird der Druck in dem erwähnten TCP 4100 Reaktor während des Ätzens bei ca. $6,7 \times 10^{-2}$ Kg/m² (5 m Torr) gehalten. Die Spitzenleistung wird auf 1.500 Watt eingestellt. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Spitzenleistung kontinuierlich. Die Spitzen-RF-Leistung kann jedoch wenn nötig auch gepulst werden. In die Reaktionskammer wird Argon mit ca. 100 Standard cm³/Min. (sccm) ($1,6 \times 10^{-6}$ m³/s) eingeführt. Jedoch kann jedes geeignete andere nicht reaktive Gas (einschließlich z.B. Edelgas oder N₂) ebenfalls eingesetzt werden. CHF₃ wird ebenfalls mit $7,2 \times 10^{-6}$ m³/s. (45 sccm), C₂HF₅ mit $3,2 \times 10^{-6}$ m³/s. (20 sccm) und CH₂F₂ mit ca. 8×10^{-7} m³/s. (5 sccm) eingespült. Die vorliegende Erfindung ist nicht beschränkt auf Druck, Höchstleistungsvorgaben und Flussraten der gezeigten Ausführungsbeispiele. Es ist leicht ersichtlich, dass solche Parameter entsprechend den Anforderungen eines bestimmten Plasmaverarbeitungssystems und/oder einem bestimmten Substrat variiert werden können.

[0044] Wenn das Substrat mit dem offenbarten gepulsten RF-Leistungswellenverlauf geätzt wird, steigt

die Photolackselektivität von ca. 3 : 1 auf ca. 7 : 1 ohne eine bedeutsame ungünstige Wirkung auf das Ätzprofil und/oder die Ätzrate. Es ist anzunehmen, dass Verbesserungen sogar für Ätzungen erhalten werden können, die, wenn mit kontinuierlichem RF-Leistungswellenverlauf geätzt, schon eine hohe Maskenselektivität haben. Das Ergebnis zeigt eine bedeutsame Verbesserung gegenüber Ätzungen gemäß dem Stand der Technik, welche lediglich kontinuierliche RF-Leistungsverläufe nutzen, bei denen eine Verbesserung der Maskenselektivität, d. h. Reduzierung der Maskenerosion, oft zu einem schlechteren Ätzprofil und/oder einer allgemein verringerten Ätzrate der darunter liegenden Schicht führt (und der umgekehrten Situation, worin eine Verbesserung der Ätzrate oft auf Kosten der Maskentrennschärfe geht, d. h. zu Kosten der gesteigerten Maskenerosion).

[0045] Obwohl die vorliegende Erfindung mit Bezug auf mehrere bevorzugte Ausführungsbeispiele beschrieben worden ist, gibt es Änderungen, Permutationen und Äquivalente, die innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung fallen. Es sollte ferner beachtet werden, dass es viele Alternativen gibt, Verfahren und Vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung auszuführen. Es ist deshalb beabsichtigt, dass die folgenden angefügten Ansprüche so interpretiert werden, dass solche Alternativen, Permutationen und Äquivalente im Umfang der vorliegenden Erfindung liegen, wie beansprucht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verminderung der Maskenerosion während der Ätzung eines Pfades (**704**) in eine unter der Maske (**702**) liegenden dielektrischen Schicht (**706**) mittels einer Fotolackwäsche (**702**), wobei die dielektrischen Schicht (**706**) auf einem auf einer Spannvorrichtung (**312**) innerhalb einer Plasmaverarbeitungskammer (**302**) platzierten Substrat (**310**) angeordnet ist, mit den Schritten:

Einströmen eines Ätzmittel-Quellengases in die Plasmaverarbeitungskammer (**302**), wobei das Ätzmittel-Quellengas ein fluorkohlenwasserstoffhaltiges Gas und ein im Wesentlichen nichtreaktionsfähiges Gas enthält;

Bilden eines Plasmas aus dem Ätzmittel-Quellengas; und

Bereitstellen einer gepulsten RF-Leistungswellenform, die eine erste Frequenz aufweist und zwischen einem Hoch- und einem Niedrig-Leistungszyklus in einer Pulsfrequenz wechselt, zu der Spannvorrichtung (**302**), wobei ein maximales Leistungsniveau ($P_{\text{max-min}}$) während des Niedrig-Leistungszyklus und die Pulsfrequenz so gewählt werden, daß Polymer während des Niedrig-Leistungszyklus auf die Maske aufgebracht wird, wobei das aufgebrachte Polymer eine Opferschutzschicht für die Ätzung während des Hoch-Leistungszyklus ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei während

des Hoch-Leistungszyklus ein maximales Leistungsniveau ($P_{\text{max-min}}$) gewählt wird, das die Ätzung des dielektrischen Materials (**706**) am Boden des Pfades (**704**) während des Hoch-Leistungszyklus ermöglicht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß während des Hoch-Leistungszyklus ein maximales Leistungsniveau ($P_{\text{max-min}}$) so gewählt wird, daß zum Ende des Hoch-Leistungszyklus im Wesentlichen alles entlang des Bodens des Pfades (**704**) aufgebrachtes Polymer während des Niedrig-Leistungszyklus entfernt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß während des Hoch-Leistungszyklus das maximale Leistungsniveau ($P_{\text{max-min}}$) so gewählt wird, das zum Ende des Hoch-Leistungszyklus im Wesentlichen alle entlang der Seitenwände des Pfades (**704**) aufgebrachten Polymere während des Niedrig-Leistungszyklus entfernt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Pulsfrequenz zwischen 0,1 Hz und 1 kHz liegt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsfrequenz zwischen 5 Hz und 100 Hz liegt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei während des Niedrig-Leistungszyklus das maximale Leistungsniveau ($P_{\text{max-min}}$) kleiner als die Hälfte des maximalen Leistungsniveaus ($P_{\text{max-min}}$) während des Hoch-Leistungszyklus ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ferner das Bereitstellen einer RF-Leistung an einer oberen Elektrode (**304**) der Plasmaverarbeitungskammer (**302**) vorgesehen ist, wobei die obere Elektrode (**304**) über dem Substrat (**310**) angeordnet ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die obere Elektrode (**304**) eine Induktionsspule ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das maximale Leistungsniveau ($P_{\text{max-min}}$) so gewählt wird, daß im Wesentlichen alles auf dem Boden des Pfades (**704**) aufgebrachtes Polymer während des Hoch-Leistungszyklus entfernt wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

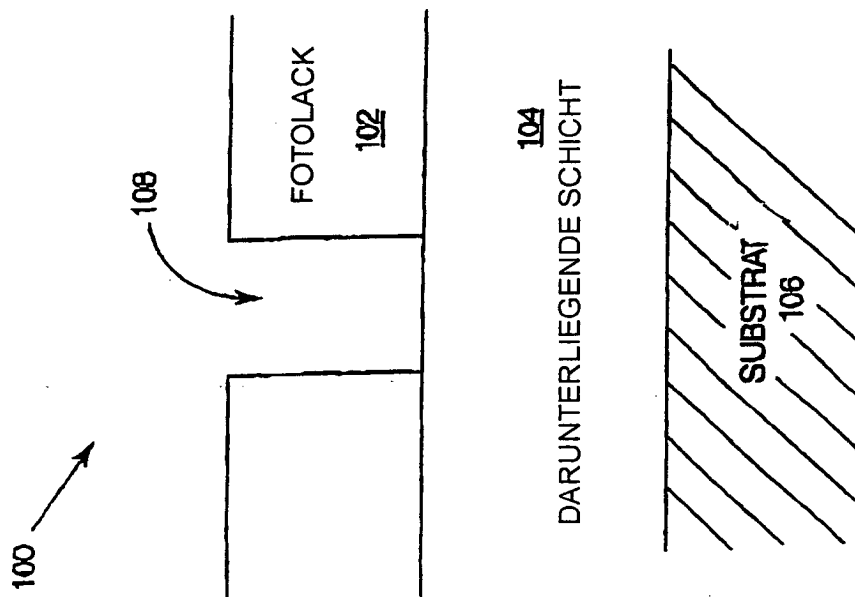


FIG. 1

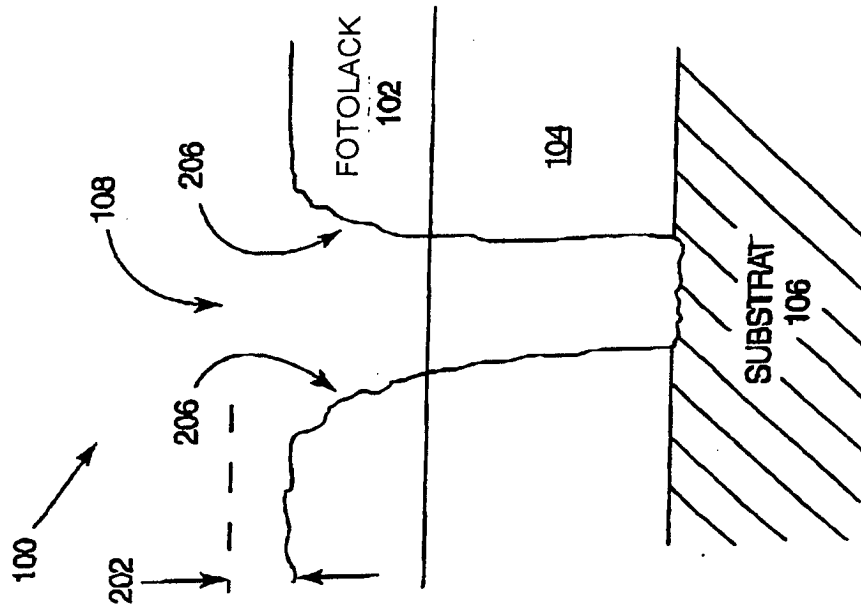


FIG. 2

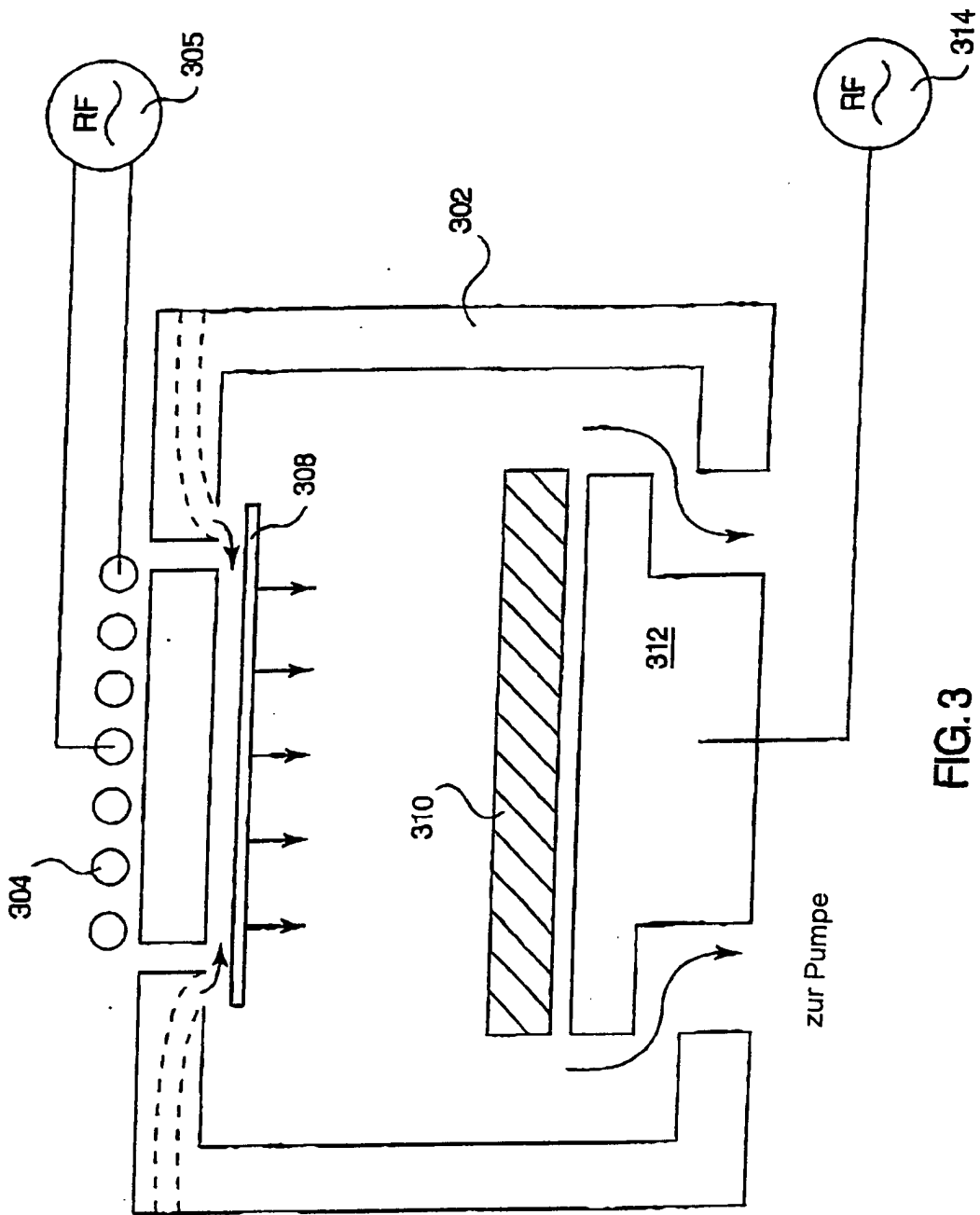


FIG. 3

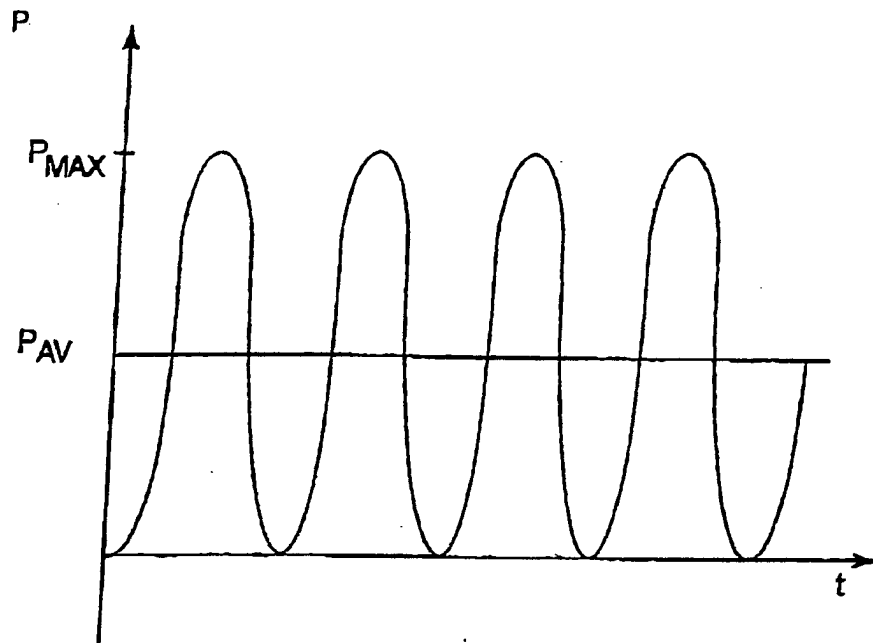


FIG. 4

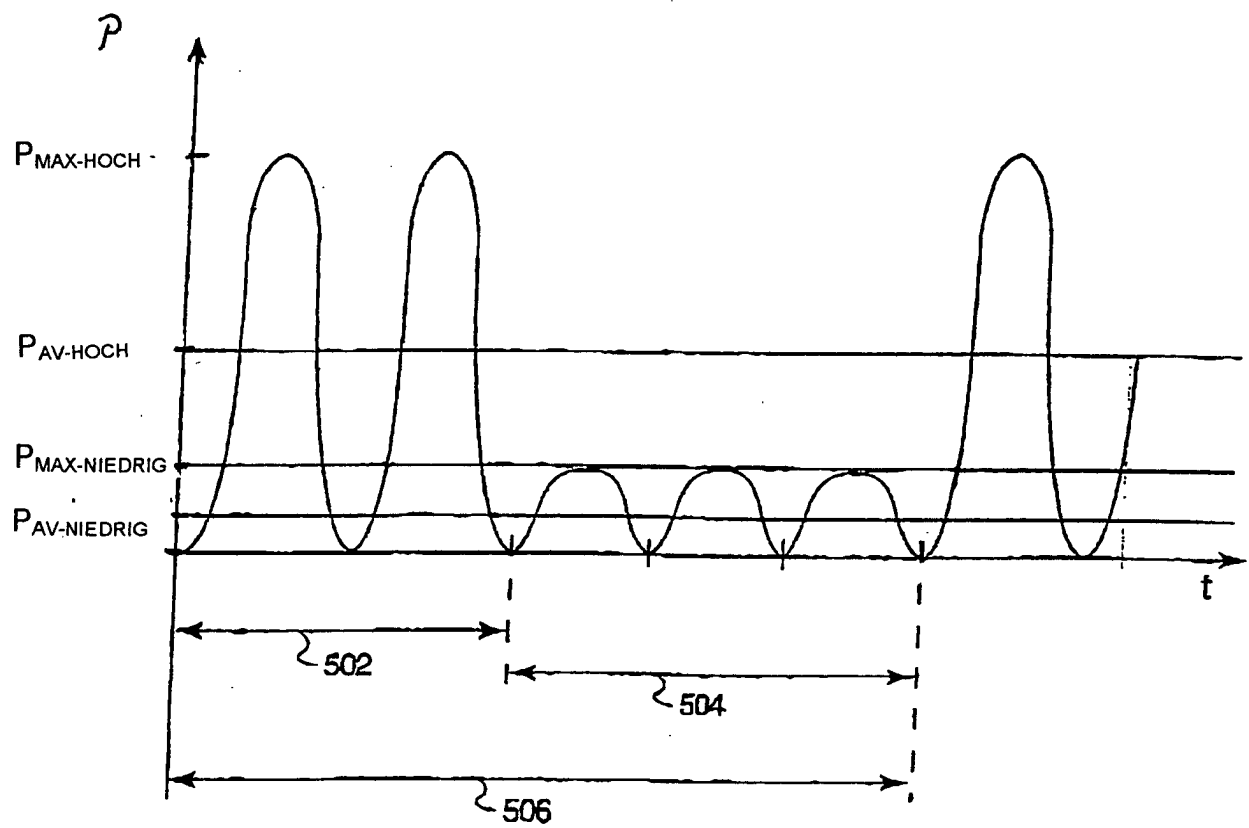


FIG. 5

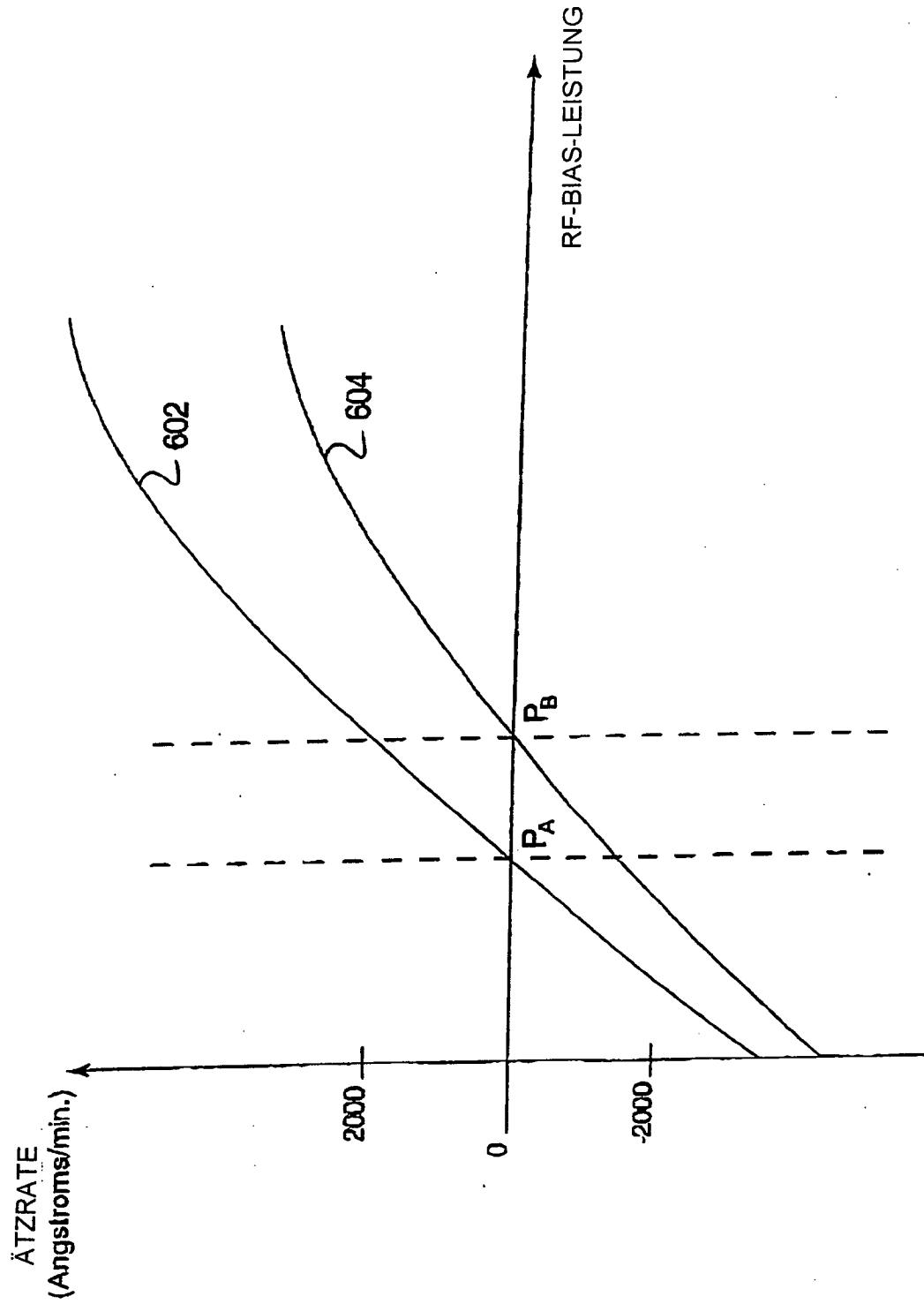


FIG. 6

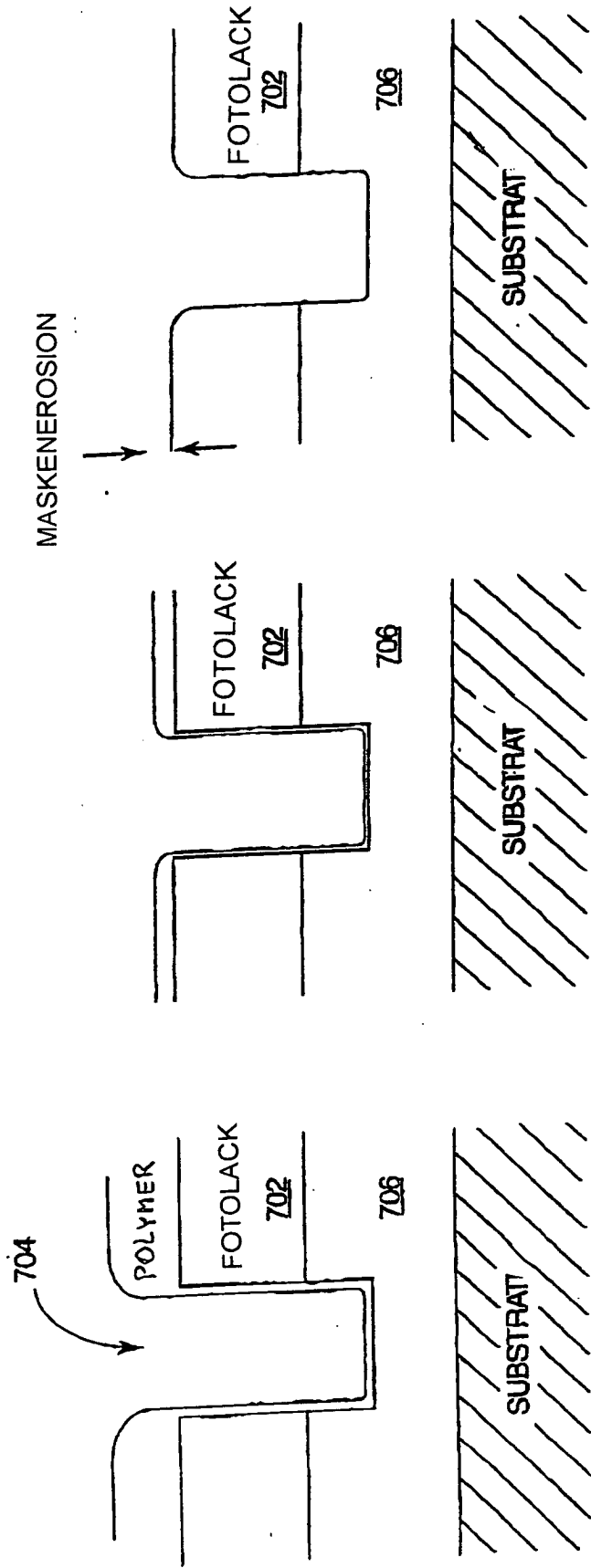


FIG. 9

FIG. 8

FIG. 7