(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 12 807 T2** 2005.08.18

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 041 614 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 12 807.5**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 302 590.5**
(96) Europäischer Anmeldetag: **29.03.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.10.2000**
(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **11.08.2004**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **18.08.2005**

(51) Int Cl.[7]: **H01L 21/306**

(30) Unionspriorität:
281602 **29.03.1999** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, NL

(73) Patentinhaber:
LSI Logic Corp., Milpitas, Calif., US

(74) Vertreter:
Schickedanz, W., Dipl.-Ing. Dr.phil., Pat.-Anw., 63073 Offenbach

(72) Erfinder:
Zhao, Joe W., San Jose, California 95120, US;
Hsia, Wei-Jen, Sunnyvale, California 94086, US;
Catabay, Wilbur G., Saratoga, California 95070, US

(54) Bezeichnung: **Plasma-Reinigungsverfahren für Öffnungen in Isolierschicht(en) niedriger Dielektrizitätskonstante über Kupferleitungs-IC-Strukturen**

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

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

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft integrierte Schaltungsstrukturen. Insbesondere betrifft diese Erfindung ein Verfahren zum Beseitigen von Ätzrückständen, einschließlich Kupferoxiden, aus Öffnungen, die durch eine oder mehrere, über Kupfermetallisierung gebildeten Schichten aus Materialien mit niedriger Dielektrizitätskonstante gebildet sind.

2. Beschreibung der verwandten Technik

[0002] Beim Aufbau von integrierten Schaltungsstrukturen wurden herkömmlicherweise dielektrische Materialien wie beispielsweise Siliziumoxid (SiO_2) verwendet, um leitfähige Elemente der integrierten Schaltungsstruktur galvanisch voneinander zu trennen und gegeneinander zu isolieren. Mit immer mehr abnehmenden Abständen zwischen solchen leitfähigen Elementen in der integrierten Schaltungsstruktur ist jedoch die Kapazität zwischen solchen leitfähigen Elementen durch das Siliziumoxid-Dielektrikum zunehmend zu einem Problem geworden. Eine solche Kapazität hat auf vielerlei Weise einen negativen Einfluss auf die Gesamtleistung der integrierten Schaltungsstruktur, darunter ihr Einfluss auf die Geschwindigkeit der Schaltungen und die Kreuzkopplung (gegenseitige Beeinflussung) benachbarter leitfähiger Elemente.

[0003] Aufgrund dieses ständig wachsenden Problems der Kapazität zwischen benachbarten, durch Siliziumoxidisolierung getrennten, leitfähigen Elementen mit immer weiter abnehmender Größe der integrierten Schaltungsstrukturen, wurde der Einsatz anderer Isoliermaterialien mit niedrigeren Dielektrizitätskonstanten als herkömmliches Siliziumoxid (SiO_2) vorgeschlagen. Eine Klasse solcher Materialien ist ein Organosiliziumoxidmaterial, bei dem mindestens ein Teil der an die Siliziumatome gebundenen Sauerstoffatome durch eine oder mehrere organische Gruppen ersetzt ist, beispielsweise durch eine Alkylgruppe wie eine Methyl- (CH_3–) Gruppe. Solche Organosiliziumoxid-Dielektrika haben Dielektrizitätskonstanten zwischen ungefähr 2,4 und ungefähr 3,5 und sind daher als Ersatz mit niedriger Dielektrizitätskonstante für das herkömmliche Siliziumoxidisoliermaterial (SiO_2) von großem Interesse.

[0004] Während der Ersatz einiger der in einem Siliziumoxidisoliermaterial an die Siliziumatome gebundenen Sauerstoffatome durch eine oder mehrere organische Gruppen eine vorteilhafte Wirkung hat, indem er die Dielektrizitätskonstante des Organosiliziumoxidmaterials senkt und daher die Kapazität zwischen durch ein solches dielektrisches Material getrennten leitfähigen Elementen senkt, hat sich herausgestellt, dass die zwischen den Siliziumatomen und den organischen Radikalen gebildete Bindung nicht so stabil ist, wie die Silizium-Sauerstoff-Bindung in herkömmlichen Siliziumoxidmaterialien (SiO_2).

[0005] Wenn insbesondere zum Beispiel die Oberfläche einer solchen Organosiliziumoxid-Isolierschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante Oxidations- oder "Veraschungs"-Systemen ausgesetzt wird, die verwendet werden, um eine Fotolackmaske von der Organosiliziumoxid-Isolierschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante zu beseitigen, nachdem Öffnungen darin gebildet wurden, hat sich herausgestellt, dass der Veraschungsprozess Schäden an den Bindungen (Trennung) zwischen den organischen Radikalen und den Siliziumatomen verursacht, die an die dieser Veraschungsbehandlung ausgesetzten Organosiliziumoxid-Isolierschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante angrenzen. Diese Trennung der Organo-Siliziumbindungen führt ihrerseits dazu, dass organische Materialien, die zuvor an die Siliziumatome gebunden waren, zusammen mit den organischen Fotolackmaterialien beseitigt werden, die von der integrierten Schaltungsstruktur entfernt werden. Die Siliziumatome, von denen die organischen Radikale getrennt wurden und die in der beschädigten Oberfläche der Organosiliziumoxid-Isolierschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante zurück bleiben, haben freie Bindungen, die sehr reaktiv sind und zu Wasserabsorptionsstellen werden, falls und wenn die beschädigte Oberfläche Feuchtigkeit ausgesetzt wird.

[0006] In der gleichzeitig schwebenden U.S.-Patentanmeldung Verzeichnis Nr. C3-4302, mit dem Titel "VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG BESCHÄDIGTER OBERFLÄCHEN VON ORGANOSILIZIUMOXID-ISOLIERMATERIALIEN MIT NIEDRIGER DIELEKTRI-ZITÄTSKONSTANTE, UM DIE FEUCHTIGKEITSAUFNAHME ZU HEMMEN", die durch zwei von uns mit einer weiteren Person am selben Tag wie diese Anmeldung eingereicht wurde, und die dem Inhaber dieser Anmeldung übertragen wurde, wird vorgeschlagen, solche beschädigten Seitenwände mit entweder einem Wasserstoffplasma oder einem Stickstoffplasma zu behandeln. Eine solche Behandlung mit einem Wasserstoff- oder Stickstoffplasma führt dazu, dass der Wasserstoff bzw. Stickstoff an die Siliziumatome mit freien Bindungen gebunden wird, die in der beschädigten Oberfläche der Organosiliziumoxid-Isolierschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante zurückgeblieben sind, um das Organomaterial zu ersetzen, das an der beschädigten Oberfläche von solchen Siliziumatomen getrennt wurde. Die Absorption von Feuchtigkeit in der beschädigten Oberfläche der Organosiliziumoxid-Isolierschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante durch die Verbindung dieses Siliziums mit Wasser wird dadurch verhindert.

[0007] Dieses Problem der potenziellen Schädigung der Organosiliziumoxid-Isolierschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante wird jedoch verschärft, wenn Kupfer als Metallverbindung unter der Durchkontaktierung oder Öffnung vorhanden ist, da die zur Bildung der Öffnungen verwendeten Ätzmittel und/oder die entweder zum Beseitigen der Ätzrückstände oder der Fotolackmaske angewandten chemischen Reinigungsbehandlungen auch mit möglicherweise vorhandenen freiliegenden Kupferoberflächen reagieren und Kupferoxide bilden können, die von der Öffnung (Durchkontaktierung) entfernt werden müssen, bevor die Öffnung mit elektrisch leitfähigen Materialien gefüllt wird. Kupfer wird manchmal als Metallverbindungsmaterial verwendet (und ist daher am Boden der Durchkontaktierung vorhanden), da es gegenüber anderen, herkömmlich als Verbindungsmaterial in integrierten Schaltungsstrukturen verwendeten Metallen wie Aluminium, Wolfram oder Titan ein überlegener elektrischer Leiter ist. Außerdem führt der selbe Wunsch nach schnelleren Schaltungen, der zur Verwendung von Isoliermaterialien mit niedriger Dielektrizitätskonstante führt (um die geschwindigkeitsreduzierende Kapazität abzuschwächen) auch zum Einsatz von Kupfer als Verbindungsmaterial, so dass in der selben integrierten Schaltungsstruktur mit der Anwesenheit von Kupfer und Isoliermaterial mit niedriger Dielektrizitätskonstante gerechnet werden muss.

[0008] In der Vergangenheit wurden Argonplasmas verwendet, um Ätzrückstände aus Öffnungen zu entfernen, die in herkömmlichen Isoliermaterialien wie Siliziumoxid (SiO_2) über Metallverbindungen aus anderen Metallen als Kupfer gebildet sind. Die Verwendung von Argon als Reinigungsgas kann jedoch auch zu unerwünschtem Sputtern des durch die Öffnung freigelegten, unterliegenden Kupfermetalls führen. Dies wiederum kann zur Ablagerung von solch gesputtertem Kupfer auf den Seitenwänden mit Isolierung mit geringem k der Durchkontaktierung führen. Da Kupfer (im Gegensatz zu anderen Metallen) bekanntermaßen in das Isoliermaterial migriert, müssen solche Ablagerungen von Kupfer auf den Seitenwänden der Durchkontaktierung vermieden werden. Einer von uns hat vor Kurzem in Zhao et al. U.S. Patent Nr. 5,660,682, das dem Inhaber dieser Erfindung übertragen wurde, vorgeschlagen, zur Entfernung von Ätzrückständen ein Gemisch aus Wasserstoff- und Argongas statt dem herkömmlichen Argonplasma zu verwenden, die Gefahr des Sputterns des Kupfers durch das Argon im Argon-Wasserstoff-Gemisch bleibt jedoch bestehen.

[0009] DE-A-196 27 017 bietet ein Verfahren für das selektive Auftragen eines Metallfilms in einer Öffnung in einer auf einem Halbleitersubstrat gebildeten Isolierschicht. Die Öffnung legt mindestens eine Oberfläche einer Metallschicht, einer Halbleiterschicht oder eines Halbleitersubstrats frei. Das Verfahren umfasst die Schritte des Aussetzens einer Oberfläche einer Isolierschicht und der Substratoberfläche an ein Gasplasma, das aus einem Edelgas und/oder Wasserstoff besteht, des Aussetzens der Isolierschicht an ein Gas, das von Fluor verschiedene Halogenatome enthält und des selektiven Auftragens eines Metallfilms in der Öffnung der Isolierschicht.

[0010] EP-A-0 518 774 beschreibt ein Verfahren zur Reinigung von oxidierten metallisierten Oberflächen, die in der Herstellung von Leiterplatten für Vernetzungen verwendet werden, die mindestens folgendes umfassen: eine erste metallisierte leitfähige Schicht, eine dielektrische Schicht, die auf die metallisierte Schicht aufgetragen wird und dann geätzt wird, um die zu metallisierenden Oberflächen oder Kontaktöffnungen freizulegen, und eine zweite metallisierte Schicht, die auf die geätzte Oberfläche aufgetragen wird. Die geätzten Leiterplatten werden vor dem Auftragen der zweiten metallisierten Schicht mit Mikrowellen-Multipolar-Plasma unter Wasserstoff behandelt.

[0011] WO-A-99 34424 (nach dem Prioritätsdatum der vorliegenden Anmeldung veröffentlicht) beschreibt ein Vorreinigungsverfahren vor der Metallisierung für Submikron-Merkmale auf Substraten. Das Verfahren umfasst die Reinigung der Submikron-Merkmale mit Radikalen aus einem Plasma eines reaktiven Gases wie beispielweise Sauerstoff, einem Gemisch aus CF4/O2, oder einem Gemisch aus He/NF3, wobei das Plasma vorzugsweise von einer entfernten Plasmaquelle erzeugt wird und die Radikale in eine Kammer gefördert werden, in der das Substrat angeordnet ist. In den Submikron-Merkmalen zurückbleibende native Oxide werden vorzugsweise in einem zweiten Schritt durch Behandlung mit Radikalen aus einem Wasserstoff enthaltenden Plasma reduziert. Im Anschluss an den ersten oder an beiden Vorreinigungsschritte können die Merkmale durch verfügbare Metallisierungsverfahren mit Metall gefüllt werden, wobei die Metallisierungsverfahren typischerweise das Auftragen einer Sperr-/Abdeckschicht auf freiliegende dielektrische Oberflächen umfassen, bevor Aluminium, Kupfer oder Wolfram aufgetragen wird. Die Vorreinigungs- und Metallisierungsschritte können auf verfügbaren integrierten Verarbeitungsplattformen durchgeführt werden.

[0012] Es wäre daher wünschenswert ein Verfahren zur Reinigung von in Isoliermaterial mit niedriger Dielektrizitätskonstante gebildeten Öffnungen wie Durchkontaktierungen, Gräben usw. bereitzustellen, um Ätzrückstände zu entfernen und außerdem Kupferoxidrückstände in solchen Öffnungen zu entfernen, ohne Kupfer auf die freiliegenden Oberflächen des Isoliermaterials mit niedriger Dielektrizitätskonstante zu sputtern.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Dementsprechend bietet die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Entfernen von Ätzrückständen von einer oder mehreren, in einer oder mehreren Schichten eines Isoliermaterials mit niedriger Dielektrizitätskonstante gebildeten Öffnungen, wobei die Schichten über einer Kupfermetall-Verbindungsschicht einer, auf einem Halbleitersubstrat gebildeten integrierten Schaltungsstruktur gebildet sind, wobei das Verfahren die Reinigung freiliegender Teile der Oberfläche der Kupfer-Verbindungsschicht am Boden der einen oder mehreren Öffnungen umfasst, indem ein Wasserstoffplasma bereitgestellt wird und eine Bias-Spannung an das Substrat angelegt wird, um das Wasserstoffplasma dabei zu unterstützen, den Boden der einen oder mehreren, an die Kupferoberfläche angrenzenden Öffnungen zu erreichen, um dadurch die Ätzrückstände zu entfernen und die freiliegenden Teile der Kupferoberfläche zu reinigen, ohne das Ablagern von Kupfer auf den Seitenwänden in der einen oder den mehreren Öffnungen zu verursachen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0014] Fig. 1 ist ein Flussdiagramm, das die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung darstellt.

[0015] Fig. 2 ist eine fragmentarische Senkrechtschnittansicht einer integrierten Schaltungsstruktur, die eine Fotolackmaske zeigt, die zum Bilden einer Öffnung in einer einzigen Schicht eines Materials mit niedriger Dielektrizitätskonstante über einer Kupferverbindungsschicht einer integrierten Schaltungsstruktur verwendet wurde.

[0016] Fig. 3 ist eine fragmentarische Senkrechtschnittansicht der Struktur aus Fig. 2 nach Entfernen der Fotolackmaske.

[0017] Fig. 4 ist eine fragmentarische Senkrechtschnittansicht der Struktur aus Fig. 3, die Ätzrückstände, einschließlich Kupferoxidrückstände zeigt, die durch ein anisotropes Ätzen mit einem Wasserstoffplasma entfernt werden.

[0018] Fig. 5 ist eine fragmentarische Senkrechtschnittansicht einer weiteren integrierten Schaltungsstruktur, die eine erste Fotolackmaske zeigt, die zum Bilden einer Öffnung in einer, über einer ersten Schicht eines Materials mit niedriger Dielektrizitätskonstante über einer Kupferverbindungsschicht einer integrierten Schaltungsstruktur gebildeten Siliziumnitrid-Ätz-Stoppschicht verwendet wird.

[0019] Fig. 6 ist eine fragmentarische Senkrechtschnittansicht der Struktur aus Fig. 5 nach Entfernen der ersten Fotolackmaske, die eine zweite, über der Siliziumnitrid-Ätz-Stoppschicht gebildete Schicht eines Materials mit niedriger Dielektrizitätskonstante und eine zweite, über der zweiten Schicht des Materials mit niedriger Dielektrizitätskonstante gebildete Fotolackmaske zeigt.

[0020] Fig. 7 ist eine fragmentarische Senkrechtschnittansicht der Struktur aus Fig. 6 nach dem Ätzen von Öffnungen durch die erste und die zweite Schicht des Materials mit niedriger Dielektrizitätskonstante und dem Entfernen der zweiten Fotolackmaske.

[0021] Fig. 8 ist eine fragmentarische Senkrechtschnittansicht der Struktur aus Fig. 7, die Ätzrückstände, einschließlich Kupferoxidrückständen zeigt, die durch ein anisotropes Ätzen mit einem Wasserstoffplasma entfernt werden.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0022] Die Erfindung umfasst ein Verfahren zum Entfernen von Ätzrückständen aus einer oder mehreren, in einer oder mehreren Schichten eines Isoliermaterials mit niedriger Dielektrizitätskonstante über einer Kupfermetall-Verbindungsschicht gebildeten Öffnungen einer integrierten Schaltungsstruktur, gemäß der Definition in Anspruch 1.

a. Die Ausführungsform von Figuren 2–4

[0023] In Fig. 2–Fig. 4 ist das Verfahren der Erfindung in seiner einfachsten Form dargestellt, wobei eine Durchkontaktierung durch eine einzige, über einer Kupfermetall-Verbindungsschicht gebildeten Schicht eines Isoliermaterials mit niedriger Dielektrizitätskonstante geätzt wird und die resultierenden Ätzrückstände, die von der Bildung der Durchkontaktierung und dem Entfernen der Fotolackmaske zurückbleiben, ohne Sputtern des unterliegenden Kupfermetalls entfernt werden.

[0024] Fig. 2 zeigt ein Halbleitersubstrat **2** wie beispielsweise ein Siliziumsubstrat mit einer darin gebildeten integrierten Schaltungsstruktur wie beispielsweise Transistoren (nicht gezeigt) mit einer darauf gebildeten ersten Isolierschicht **10** und einer über der ersten Isolierschicht **10** gebildeten Kupferverbindungsschicht **20**. Die erste Isolierschicht **10** (die nicht Bestandteil der vorliegenden Erfindung ist) kann ein herkömmliches Siliziumoxid-Isoliermaterial (SiO_2) umfassen oder sie kann ein Isoliermaterial mit niedriger Dielektrizitätskonstante umfassen. Die Kupferverbindungsschicht **20** umfasst eine herkömmliche gemusterte Schicht aus Kupfer, die als erste Verdrahtungsebene der integrierten Schaltungsstruktur dient und durch in der ersten Isolierschicht **10** gebildete Kontaktöffnungen (nicht gezeigt) selektiv mit verschiedenen Kontakten am Substrat verbunden ist.

[0025] Über der Kupferverbindungsschicht **20** befindet sich eine Schicht **30** aus Isoliermaterial mit niedriger Dielektrizitätskonstante (niedrigem k). Mit dem Begriff "Isoliermaterial mit niedriger Dielektrizitätskonstante" ist ein Isoliermaterial gemeint, dessen Dielektrizitätskonstante unter ungefähr 4,0 und vorzugsweise unter ungefähr 3,5 liegt. Über der Isolierschicht mit niedrigem k 30 ist eine dünne Schutzschicht **40** aus einem Material wie beispielsweise Siliziumnitrid gebildet, die dazu dient, die Isolierschicht mit niedrigem k 30 während der anschließenden Entfernung der über der Abdeck-Schutzschicht **40** gebildeten Fotolackmaske **50** zu schützen. Die Dicke der Schutzschicht **40**, die nachfolgend als Siliziumnitridschicht **40** bezeichnet wird, kann zwischen ungefähr 15 nm und ungefähr 300 nm liegen. Die Fotolackmaske **50** wird mit einer oder mehreren Öffnungen darin gebildet, was durch die Öffnung **54** in Fig. 2 veranschaulicht wird, durch die die Isolierschicht mit niedrigem k 30 (und die darauf befindliche Siliziumnitridschicht **40**) geätzt wird, um die in Fig. 2 gezeigte Durchkontaktierung **34** zu bilden. Die Siliziumnitridschicht **40** kann durch die Maskenöffnung **54** typischerweise mit einem CHF_3– und O_2-Plasma geätzt werden, während die Isolierschicht mit niedrigem k mit einem Siliziumoxid-Ätzmittelsystem wie beispielsweise einem CF_4– und H_2-Plasma oder einem CF_4, C_4F_8– und Argonplasma geätzt werden kann.

[0026] Wie in Fig. 2 gezeigt, kann das Ätzen der Isolierschicht mit niedrigem k 30, um die Durchkontaktierung **34** zu bilden, zur Bildung einiger Ätzrückstände **36** in der Durchkontaktierung **34** über der Kupferoberfläche der unterliegenden Kupferverbindungsschicht führen. Außerdem kann, wie in Fig. 3 gezeigt, das anschließende Entfernen der Fotolackmaske **50** zu weiteren Ätzrückständen **38** in der Durchkontaktierung **34** führen, die Kupferoxid enthalten können, das während dem Entfernen der Fotolackmaske **50** durch Reaktion der Fotolack-Entfernungschemikalien mit solchen freiliegenden Teilen der Kupferverbindungsschicht **20** im Boden der Durchkontaktierung **34** über der freiliegenden Kupferoberfläche im Boden der Durchkontaktierung **34** gebildet wurde. Die freiliegende Kupferoberfläche im Boden der Durchkontaktierung **34** muss vor dem Füllen der Durchkontaktierung **34** mit Metall auf jeden Fall gereinigt werden, um solche Materialien, einschließlich dem Kupferoxid, zu entfernen, um die Bildung eines guten ohmschen Kontakts zwischen der Kupferverbindungsschicht **20** und dem zum Füllen der Durchkontaktierung **34** verwendeten Metall sicherzustellen.

[0027] Herkömmlicherweise wurde, wenn es sich bei der unterliegenden Metallverbindungsschicht um Aluminium oder ein anderes Metall (außer Kupfer) handelte, die Metalloberfläche mit einem Argonplasma gereinigt, um solche Ätzrückstände und Metalloxide zu entfernen. Ein solches Argonplasma kann jedoch auch zum Sputtern eines Teils des freiliegenden Metalls im Boden der Durchkontaktierung führen. Wenn es sich bei dem gesputterten Metall um Kupfer handelt, kann die daraus folgende Wiederablagerung des gesputterten Kupfers auf den Seitenwänden der Durchkontaktierung schädliche Auswirkungen haben, da die Kupferatome im Gegensatz zu vielen anderen, herkömmlich bei der Herstellung von integrierten Schaltungsstrukturen verwendeten Metallen, in die Wände des Isoliermaterials diffundieren oder migrieren. Es ist daher wichtig, dass dieses Sputtern von Kupfer unterdrückt oder ausgeschlossen wird.

b. Der Wasserstoffplasma-Reinigungsschritt

[0028] Gemäß der Erfindung werden die freiliegenden Kupferoberflächen am Boden der Durchkontaktierung **34** gereinigt, um Oxide und Ätzrückstände, einschließlich den Kupferoxidrückständen, mit einem Wasserstoffplasma aus der Durchkontaktierung **34** zu entfernen, das chemisch mit den Ätzrückständen reagiert, einschließlich dem Kupferoxid, statt das unterliegende Kupfer zu sputtern. Um das Kupfer mit einem solchen Wasserstoffplasma zu reinigen, wird das Substrat **2** in eine Hochvakuumkammer gelegt, wo es andauernd einem Druck von ungefähr 0,1 milliTorr (1 Torr = 133 Pa) bis ungefähr 10 milliTorr, typischerweise ungefähr 0,5 milliTorr und einer Temperatur zwischen ungefähr Raumtemperatur (20 °C) und ungefähr 300 °C und typischerweise ungefähr 150 °C ausgesetzt wird. Wie unter 6 in Fig. 4 gezeigt, wird am Substrat **2** eine negative rf-Bias-Spannung angelegt, die zwischen ungefähr – 200 Volt und -400 Volt liegt und typischerweise ungefähr -300 Volt beträgt. Diese negative Bias-Spannung wird praktischerweise über die Substratauflage (nicht gezeigt), auf der das Substrat **2** in der Vakuumkammer liegt, an das Substrat **2** angelegt. Diese Substrat-Bias-Spannung ist sehr wichtig, um sicherzustellen, dass die Wasserstoffatome im Plasma den Boden der Durchkontaktierung **34** erreichen, statt auf die Seitenwände der Durchkontaktierung **34** aufzuprallen. Das heißt, sie stellt sicher, dass der Fluss der Wasserstoffatome in der Durchkontaktierung anisotrop ist. Dies ist wichtig, da sich die Ätzrückstände und die zu reinigende Kupferverbindungsoberfläche am Boden der Durchkontaktierung **34** befinden.

[0029] Dann wird Wasserstoffgas in die Kammer geleitet, und zwar mit einer Strömungsgeschwindigkeit, die einem Fluss von ungefähr 1 Normkubikzentimeter pro Minute (sccm) bis ungefähr 100 sccm in eine 5 Liter Vakuumkammer entspricht und das Plasma wird dann entzündet und durch eine getrennte herkömmliche Plasmaenergiequelle mit Energie versorgt, die bei einer Leistung von ungefähr 20 Watt bis ungefähr 400 Watt, typischerweise 300 Watt gehalten werden kann. Außerdem kann anfangs eine kleine Menge Stickstoffgas, z. B. etwa 100 sccm in die Vakuumkammer geleitet werden, um die Entzündung

des Plasmas zu erleichtern, dieser Stickstoffstrom wird dann jedoch abgestellt, sobald das Plasma entzündet ist. Das Substrat wird dem Plasma während einer Dauer ausgesetzt, die ausreicht, um alle verbleibenden Ätzrückstände **36** sowie Kupferoxidrückstände **38** vom freiliegenden Teil der Kupferverbindungsschicht **20** am Boden der Durchkontaktierung **34** zu entfernen. Die Reinigungsdauer liegt üblicherweise zwischen ungefähr 5 Sekunden und ungefähr 5 Minuten und beträgt typischerweise ungefähr 1 Minute.

[0030] Nachdem der Reinigungsschritt abgeschlossen ist, kann das gereinigte Substrat, vorzugsweise unter Vakuum, in eine PVD- (Physical Vapour Deposition) Kammer verlegt werden, wo dann die herkömmliche Verarbeitung stattfindet, um eine Durchkontaktierungs-Auskleidung zu bilden und dann die ausgekleidete Durchkontaktierung mit Kupfer zu füllen. Beispielsweise kann ein Durchkontaktierungs-Auskleidungsmaterial wie beispielsweise Tantalmetall oder Tantalnitrid über die Seitenwandoberflächen der Durchkontaktierung **34** und den freiliegenden Teil der Kupferverbindungsschicht **20** am Boden der Durchkontaktierung **34** gesputtert werden. Die Durchkontaktierung kann dann mit einem beliebigen herkömmlichen Füllverfahren mit Kupfer gefüllt werden. Beispielsweise kann eine Keimschicht aus Kupfer über das Auskleidungsmaterial in der Durchkontaktierung gesputtert werden und die Keimschicht kann dann mit Kupfer plattiert werden.

c. Optionale Reparatur beschädigter Seitenwände der Durchkontaktierung vor der Reinigung

[0031] Es ist zu beachten, dass nach der Bildung der Durchkontaktierung **34** und nach dem Entfernen der Fotolackmaske **50**, aber vor dem Reinigungsverfahren dieser Erfindung, alle Beschädigungen der Durchkontaktierungs-Seitenwände am Isoliermaterial mit niedrigem k, die entweder durch das Ätzen der Durchkontaktierung oder durch das Entfernen der Fotolackmaske entstanden sind, repariert werden können, indem das Substrat ohne angelegte Bias-Spannung einem Wasserstoffplasma ausgesetzt wird, das das beschädigte Material mit niedrigem k berührt und mit ihm reagiert, wie in der zuvor erwähnten, gleichzeitig schwebenden U.S.-Patentanmeldung Verzeichnis Nr. C3-4302, mit dem Titel "VERFAHREN ZUR BEHANDLUNG BESCHÄDIGTER OBERFLÄCHEN VON ORGANOSILIZIUM-OXID-ISOLIERMATERIALIEN MIT NIEDRIGER DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE, UM DIE FEUCHTIGKEITSAUFNAHME ZU HEMMEN" beschrieben und beansprucht. Dieser Reparaturschritt würde normalerweise ausgeführt, wenn der oben beschriebene optionale Passivierungsschritt vor dem Entfernen der Fotolackmaske nicht durchgeführt wurde oder wenn der vor dem Entfernen der Fotolackmaske durchgeführt Passivierungsschritt keinen ausreichenden Schutz für die Durchkontaktierungs-Seitenwand während dem Entfernen der Fotolackmaske ergeben hat.

d. Die Ausführungsform von Figuren 5–8

[0032] Unter Betrachtung von Fig. 5–Fig. 8 wird die Erfindung jetzt bezüglich ihrer Verwendung mit einer zweischichtigen oder "Dual-Damascene"-Struktur beschrieben. In dieser in Fig. 5–Fig. 8, in denen gleiche Elemente mit gleichen Ziffern gekennzeichnet sind, dargestellten zweiten Ausführungsform wird nach dem Bilden der Fotolackmaske **50** mit der repräsentativen Öffnung **54** darin eine Öffnung **44** durch die Siliziumnitridschicht **40** geätzt, wodurch die Siliziumnitridschicht **40** als Maske wirken kann, wie nachfolgend beschrieben wird. Die erste Isolierschicht mit niedrigem k wird jedoch nicht durch die Öffnung **54** in der Maske **50** und die Öffnung **44** in der Siliziumnitridschicht **40** geätzt. Statt dessen wird dann die Fotolackmaske **50** entfernt, gefolgt vom Auftragen einer zweiten Isolierschicht mit niedrigem k 60 über der Siliziumnitridmaske **40** und, durch die Öffnung **44**, dem freiliegenden Teil der unterliegenden Isolierschicht mit niedrigem k 30, wie in Fig. 6 gezeigt.

[0033] Dann wird eine Abdeckschicht **70**, die aus dem selben Material und dem selben Dickebereich, wie die Siliziumnitridschicht **40** gebildet sein kann, über der zweiten Isolierschicht mit niedrigem k 60 gebildet, um die obere Oberfläche der Isolierschicht mit niedrigem k 60 vor den Chemikalien zu schützen, die anschließend verwendet werden, um eine weitere Fotolackmaske zu entfernen. Dann wird die zweite Fotolackmaske **80** mit einer repräsentativen Maskenöffnung **84**, die in Fig. 6 darin gezeigt ist, über der Siliziumnitrid-Abdeckschicht **70** gebildet.

[0034] Der Teil der Siliziumnitrid-Abdeckschicht **70**, der durch die Maskenöffnung **84** freigelegt ist, wird dann durchgeätzt. Anschließend wird der freiliegende Teil der zweiten Isolierschicht mit niedrigem k 60 durch die Öffnung **84** in der Fotolackmaske **80** bis auf die Siliziumnitrid-Maskenschicht **40** geätzt und dann wird der freiliegende Teil der unterliegenden Isolierschicht mit niedrigem k 30 durch die zuvor gebildete Öffnung **44** in der Siliziumnitrid-Maskenschicht **40** geätzt (während des selben Ätzschritts und mit dem selben Ätzsystem). In diesem Fall werden die Isolierschichten mit niedrigem k 60 und 30 mit einem Siliziumoxid-Ätzsystem wie beispielsweise einem CF_4–, C_4F_8– und Argonplasma geätzt, das selektiv auf Siliziumnitrid ist, d.h. ein Ätzsystem, das bevorzugt das Isoliermaterial mit niedrigem k und nicht das Siliziumnitrid ätzt.

[0035] Es ist zu beachten, dass die Öffnung **84** in der zweiten Fotolackmaske **80** viel größer ist als die Öffnung **54** in der jetzt entfernten Fotolackmaske **50**.

Das liegt daran, dass die durch die Maskenöffnung **84** in der zweiten Isolierschicht mit niedrigem k 60 gebildete Öffnung einen Teil eines in der zweiten Schicht mit niedrigem k 60 durch die Maskenöffnung **84** gebildeten Grabennetzwerks umfasst, das die Kupferverbindung repräsentiert, die in diesem Grabennetzwerk gebildet wird, während die Öffnung **44** in der Siliziumnitridmaske **40** die Durchkontaktierung repräsentiert, die durch die erste Isolierschicht mit niedrigem k 30 gebildet wird, um die im in der Schicht mit niedrigem k 60 zu bildenden Grabennetzwerk gebildete Kupferverbindung mit der Kupferverbindungsschicht **20** unter der Schicht mit niedrigem k 30 zu verbinden.

[0036] Die Fotolackmaske **80** wird dann entfernt, wobei, wie in Fig. 7 gezeigt, Ätzrückstände und Kupferoxid **38** auf dem durch den neu gebildeten Graben **64** und die neu gebildete Durchkontaktierung **34** freigelegten Teil der Kupferverbindungsschicht **20** zurückgelassen werden. Gemäß der Erfindung werden solche Rückstände durch Aussetzen an den zuvor beschriebenen Wasserstoffplasma-Reinigungsschritt aus den Gräben entfernt, wie in Fig. 8 dargestellt, wobei das Substrat **2** wieder mit einer angelegten negativen rf-Bias-Spannung gezeigt ist, um den anisotropen Fluss der Wasserstoffplasmaatome an den Boden der Gräben statt in Richtung der Seitenwände der Gräben sicherzustellen. Das Ergebnis, wie ebenfalls in Fig. 8 gezeigt, ist eine saubere Öffnung, die Gräben und Durchkontaktierungen umfasst, die für die Auskleidung mit einem Metall oder einer leitfähigen Metallverbindung und das anschließende Füllen mit Kupfer, wie in der zuvor beschriebenen Ausführungsform, bereit sind.

e. Beispiel

[0037] Um das Verfahren der Erfindung weiter zu veranschaulichen, können zwei identische Siliziumsubstrate mit darauf befindlichen Schichten mit niedrigem k 30 und 60 als Teil der in Fig. 7 gezeigten integrierten Schaltungsstruktur aufgebaut werden, d.h. mit in identischen Schichten der jeweiligen Strukturen gebildeten identischen Gräben und Durchkontaktierungen. Eine der Strukturen kann dann einer herkömmlichen Argonplasmareinigung unterzogen werden, während die andere Struktur dem Wasserstoffplasma-Reinigungsverfahren der Erfindung unterzogen wird. Beide Strukturen würden dann denselben Metallfüllungs- und anderen Verarbeitungsschritten unterzogen, um die jeweiligen Gräben und Durchkontaktierungen in beiden Strukturen mit den selben leitfähigen Materialien zu füllen, einschließlich weiteren Erwärmungsschritten. Wenn dann beide Strukturen senkrecht durchgeschnitten werden, um das an die Seitenwände der Gräben und Durchkontaktierungen angrenzende Isoliermaterial mit niedrigem k freizulegen, wird sich zeigen, dass Kupferatome, die offenbar durch das Argonreinigungsplasma gesputtert und dann auf den Seitenwänden der Gräben und Durchkontaktierungen abgelagert wurden, in das Isoliermaterial mit niedrigem k migriert sind. Im Gegensatz dazu, wäre in der mit dem Wasserstoffreinigungsplasma der Erfindung gereinigten Struktur das an die Seitenwände der Gräben und Durchkontaktierungen angrenzende Isoliermaterial mit niedrigem k frei von Kupferatomen, was darauf hinweist, dass das Wasserstoffreinigungsplasma der Erfindung keine Kupferatome gesputtert hat und daher keine Ablagerung von Kupferatomen auf den Seitenwänden der Gräben und Durchkontaktierungen stattgefunden hat, die in das Isoliermaterial mit niedrigem k hätte migrieren können.

[0038] So bietet die Erfindung ein Verfahren, bei dem Ätzrückstände aus in Schichten eines Isoliermaterials mit niedriger Dielektrizitätskonstante über einer Kupfermetall-Verbindungsschicht einer integrierten Schaltungsstruktur gebildeten Öffnungen entfernt werden können und freiliegende Teile der Oberfläche der Kupferverbindungsschicht am Boden der Öffnungen mit einem anisotropen Wasserstoffplasma gereinigt werden können, das eine chemische Reaktion zwischen den Ionen im Plasma und den Ätzrückständen, einschließlich Kupferoxid, auf der freiliegenden Kupferoberfläche am Boden der einen oder mehreren Öffnungen bewirkt. Freiliegende Teile der Kupferoberfläche werden daher gereinigt und die Ätzrückstände werden entfernt, ohne das Kupfer am Boden der Öffnung zu sputtern, wodurch kein Kupfer auf den Seitenwandoberflächen des Materials mit niedrigem k abgelagert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entfernen von Ätzrückständen (**36**) von einer oder mehreren, in einer oder mehreren Schichten (**30**, **60**) eines Isoliermaterials mit niedriger Dielektrizitätskonstante gebildeten Öffnungen (**34**), wobei die Schichten über einer Kupfermetall-Verbindungsschicht (**20**) einer, auf einem Halbleitersubstrat (**2**) gebildeten, integrierten Schaltungsstruktur gebildet sind, wobei das Verfahren die Reinigung freiliegender Teile der Oberfläche der Kupfer-Verbindungsschicht (**20**) am Boden der einen oder mehreren Öffnungen (**34**) umfasst, indem ein Wasserstoffplasma bereitgestellt wird und eine Bias-Spannung an das Substrat angelegt wird, um das Wasserstoffplasma dabei zu unterstützen, den Boden der einen oder mehreren, an die Kupferoberfläche angrenzenden Öffnungen (**4**) zu erreichen, um dadurch die Ätzrückstände zu entfernen und die freiliegenden Teile der Kupferoberfläche zu reinigen, ohne das Ablagern von Kupfer auf den Seitenwänden in der einen oder den mehreren Öffnungen (**34**) zu verursachen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei dem Schritt des Bereitstellens des Plasmas ein Schritt der Passivierung vorangeht, wobei der Passivierungsschritt

die Behandlung der Seitenwände der einen oder mehreren Öffnungen (**34**) mit einem aus der aus Stickstoffplasma, Sauerstoffplasma und einer Kombination aus Stickstoff- und Sauerstoffplasmas bestehenden Gruppe gewählten Plasma umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei dem Schritt des Bereitstellens des Plasmas ein Schritt der Reparatur vorangeht, wobei der Reparaturschritt die Behandlung der Seitenwände der einen oder mehreren Öffnungen (**34**) mit einem Wasserstoffplasma ohne Anlegen einer Bias-Spannung an das Substrat umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei es sich bei der Bias-Spannung um eine negative Bias-Spannung handelt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Bias-Spannung im Bereich zwischen ungefähr -200 Volt bis ungefähr -400 Volt liegt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei dem Schritt des Entfernens durch Wasserstoffplasma ein Schritt der Physical Vapour Deposition folgt, um eine Durchkontaktierungs-Auskleidung auf mindestens den Seitenwänden der einen oder mehreren Öffnungen (**34**) zu bilden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Schritt der Physical Vapour Deposition zum Bilden einer Durchkontaktierungs-Auskleidung auf mindestens den Seitenwänden der einen oder mehreren Öffnungen (**34**) das Ablagern von Tantal auf mindestens den Seitenwänden der einen oder mehreren Öffnungen umfasst.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

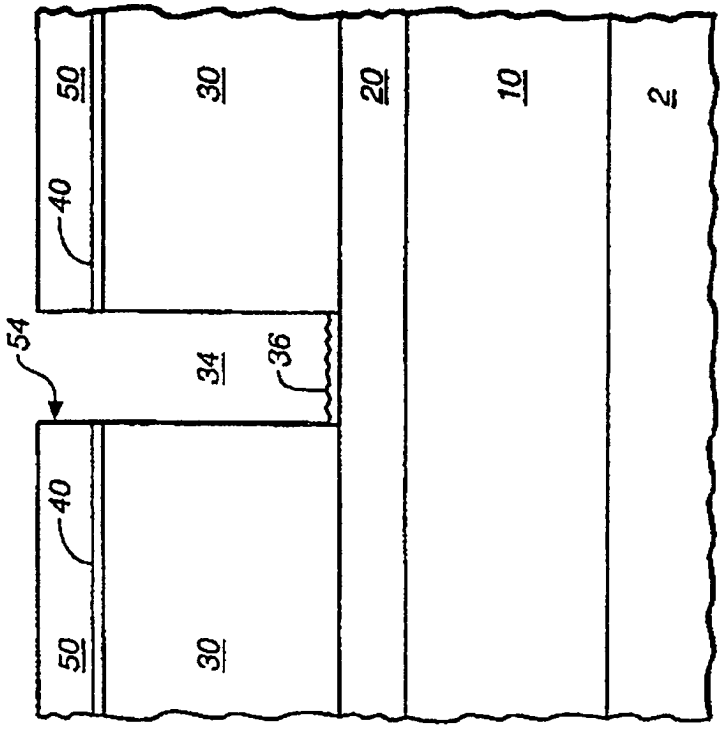

FIG._2

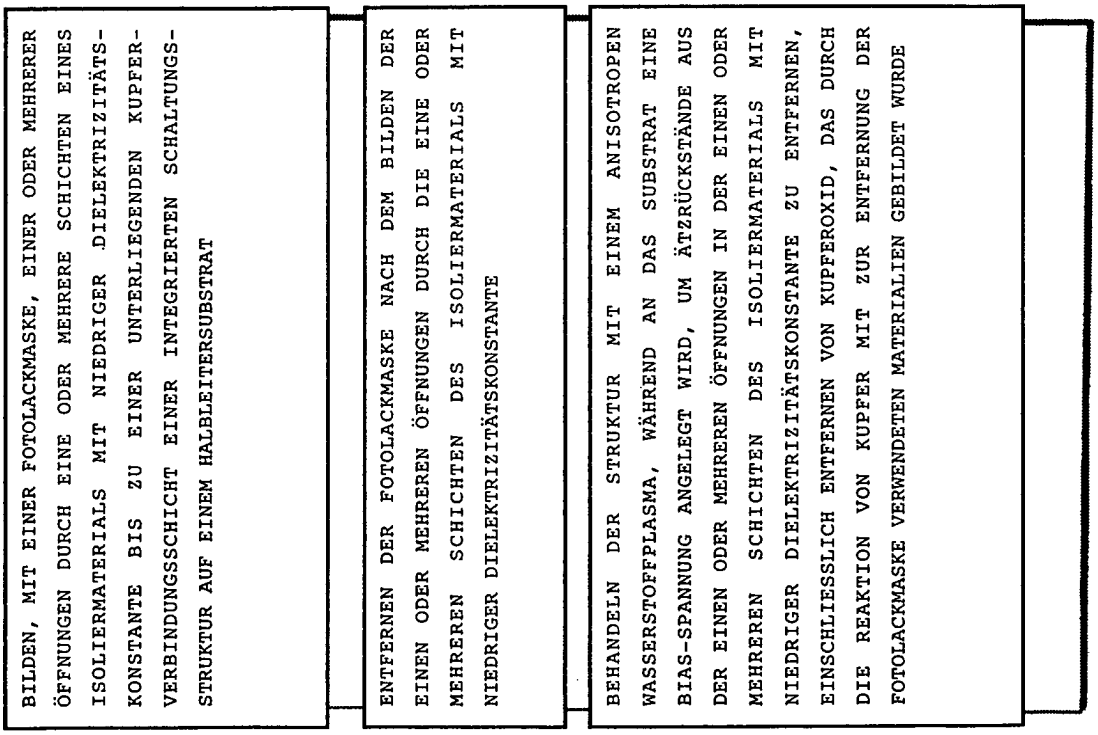

FIG._1

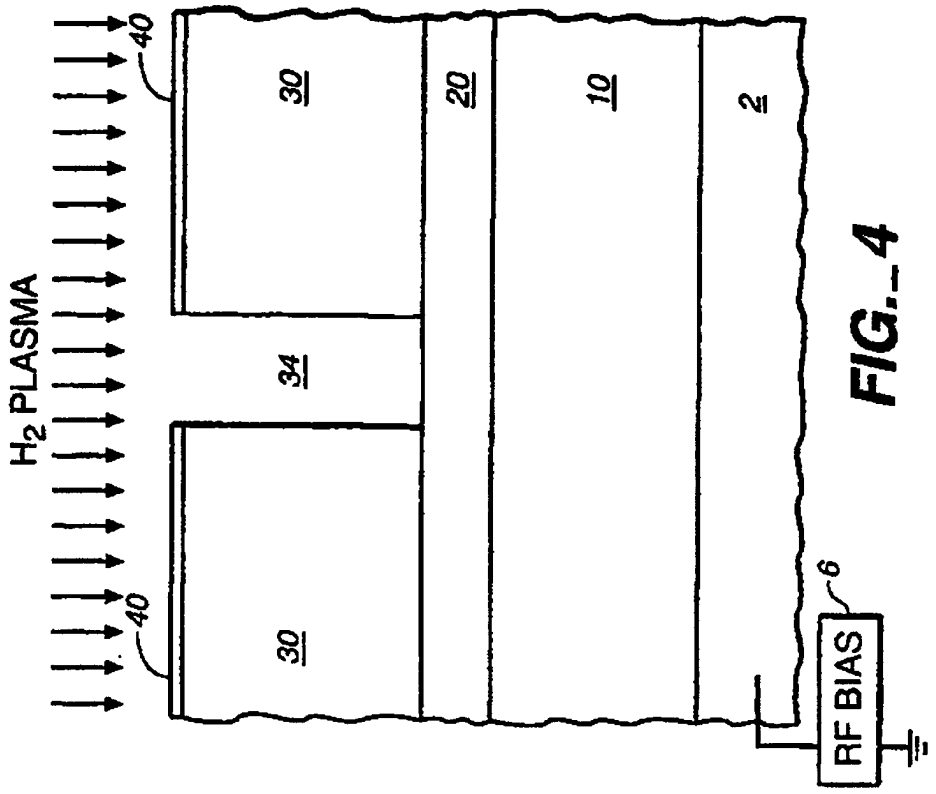

FIG._4

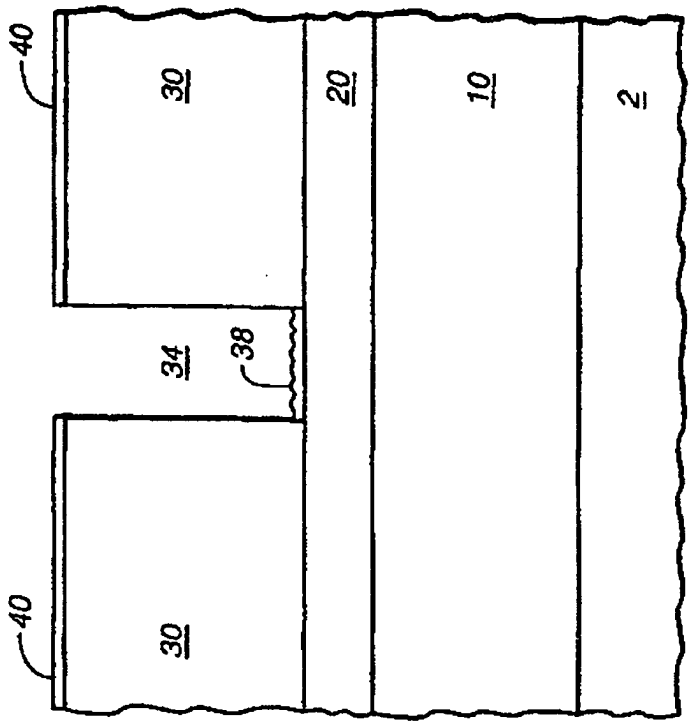

FIG._3

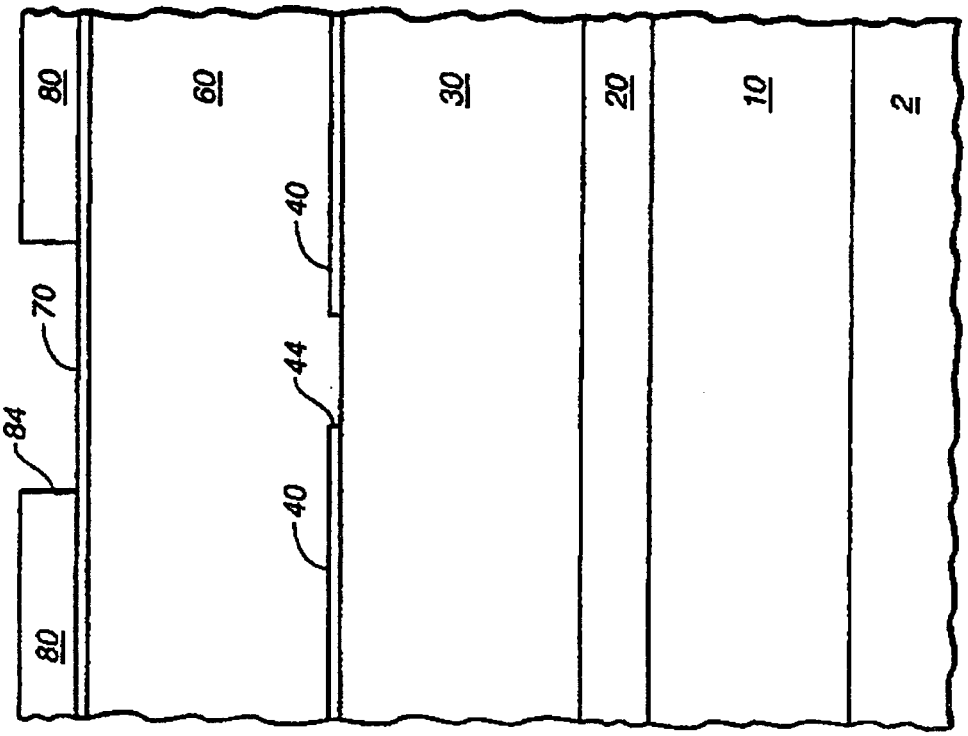

FIG._6

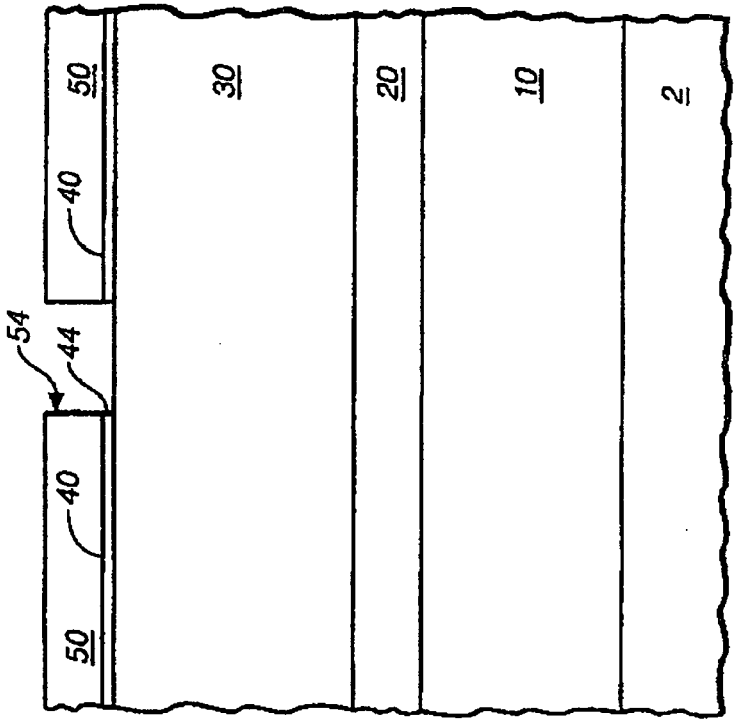

FIG._5

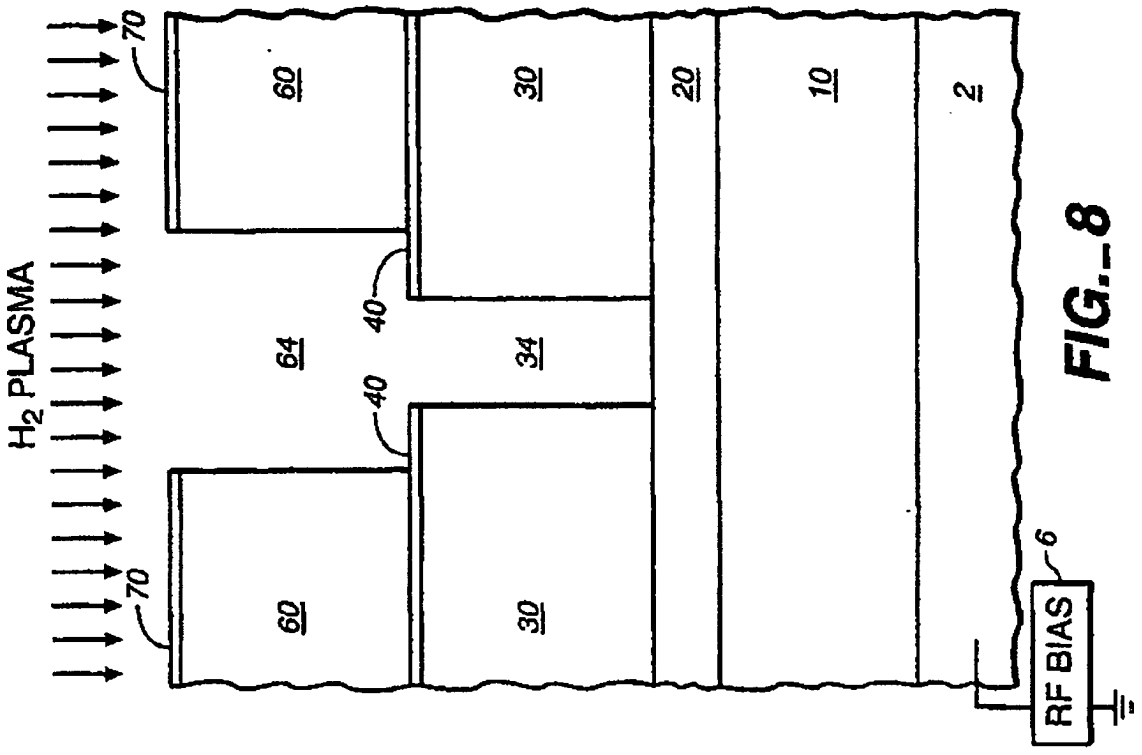
H_2 PLASMA
70
60
30
20
10
2
40
64
34
RF BIAS
6

FIG._8

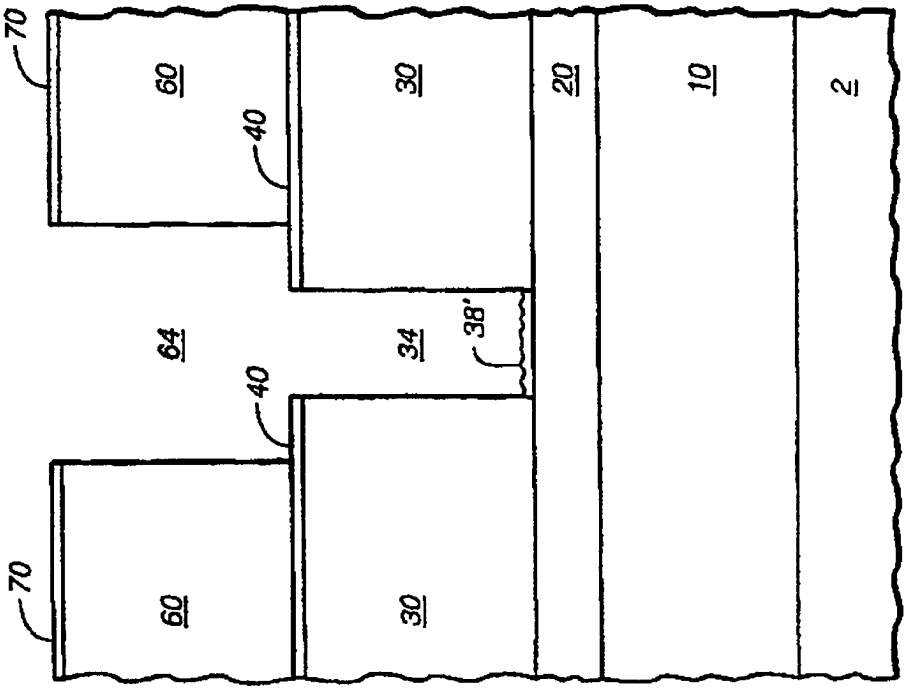
70
60
30
20
10
2
40
64
34
38'

FIG._7