



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 05 874 T2 2004.05.19**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 037 275 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 05 874.3**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 103 333.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **21.02.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.09.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.05.2004**

(51) Int Cl.7: **H01L 21/768**

**H01L 21/762**

(30) Unionspriorität:

**7225299            17.03.1999    JP**

(73) Patentinhaber:

**Canon Sales Co. Inc., Tokio/Tokyo, JP;  
Semiconductor Process Laboratory, Co. Ltd.,  
Tokio/Tokyo, JP**

(74) Vertreter:

**Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:

**Maeda, Kazuo, Tokyo 108-0075, JP**

(54) Bezeichnung: **Herstellungsverfahren für einen porösen Siliziumoxid-Film**

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

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

## Beschreibung

### Hintergrund der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ausbildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht und genauer ein Verfahren zur Ausbildung eines isolierenden Films mit niedriger Dielektrizitätskonstante als Zwischenschicht, was für ein hochintegriertes Halbleiterbauteil erforderlich ist. Der Fortschritt der hohen Integration von Halbleiterbauteilen in den zurückliegenden Jahren hat zu einem engeren Intervall bzw. kleinerem Abstand zwischen den Verdrahtungen geführt. Da der engere Abstand zwischen den Verdrahtungen einen Kapazitätsanstieg zwischen den Verdrahtungen verursacht, wurde die Ausbildung eines isolierenden Films mit niedriger Dielektrizitätskonstante als Zwischenschicht gefordert.

[0002] Mit den jüngsten Fortschritten bezüglich der Hochintegration eines LSI-Bauteils wurden die Verdrahtungen sogar in den Mikromaßstab überführt und mehrschichtig ausgebildet. Dementsprechend gab es auch einen Kapazitätsanstieg zwischen den Verdrahtungen. So wurden Verbesserungen in dieser Hinsicht stark angemahnt. Als eine Verbesserungsmaßnahme ist ein Verfahren zur Verringerung der Kapazität zwischen der Verdrahtungen untersucht worden. Dieses Verfahren nutzt einen isolierenden Film als Zwischenschicht, der eine niedrigere Dielektrizitätskonstante als das gegenwärtig für isolierende Filme als Zwischenschichten verwendete  $\text{SiO}_2$  aufweist.

[0003] Typische isolierende Filme als Zwischenschichten mit niedriger Dielektrizitätskonstante, die gegenwärtig untersucht werden, sind (1) ein SiOF-Film und ein (2) organischer isolierender Film mit niedriger Dielektrizitätskonstante. Diese Filme sollen nun beschrieben werden.

#### 1. SiOF-Film

[0004] Ein SiOF-Film wird unter Anwendung eines Quellgases, enthaltend F, und unter Ersetzen der Si-F-Bindungen anstelle eines Teils der Si-O-Bindungen in dem  $\text{SiO}_2$  ausgebildet. Dieser SiOF-Film weist eine relative Dielektrizitätskonstante auf, die monoton mit steigender Konzentration an F in dem Film sinkt.

[0005] Für die Ausbildung solcher SiOF-Filme sind zahlreiche Verfahren beschrieben worden (siehe S. 82 der Monatszeitschrift „Semiconductor World“, Februarausgabe von 1996). Das vielversprechendste unter diesen Verfahren ist eines zur Ausbildung eines SiOF-Films unter Anwendung von  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{O}_2$ , Ar und  $\text{SiF}_4$  als Quellgasen, über ein hochdichtes, plasmaverstärktes CVD-Verfahren (HDPCVD-Verfahren). Die relativen Dielektrizitätskonstanten eines über dieses Verfahren gebildeten SiOF-Films liegen im Bereich von 3,1 bis 4,0 (schwankend in Abhängigkeit der F-Konzentration im Film). Dieser Wert ist niedriger als eine relative Dielektrizitätskonstante von 4,0 für  $\text{SiO}_2$ , das herkömmlicherweise für den isolierenden Film als Zwischenschicht genutzt worden ist.

#### 2. Organischer isolierender Film mit niedriger Dielektrizitätskonstante

[0006] Als ein isolierender Film, der eine niedrigere Dielektrizitätskonstante (3,0 oder darunter) im Vergleich mit dem SiOF-Film aufweist, steht derzeit ein organischer isolierender Film mit niedriger Dielektrizitätskonstante im Zentrum der Aufmerksamkeit. Tabelle 1 zeigt einige organische isolierende Filme niedriger Dielektrizitätskonstanten, die beschrieben worden sind, und deren jeweilige Dielektrizitätskonstanten wie auch deren Zersetzungstemperaturen.

TABELLE 1

| Organischer isolierender Film | Relative Dielektrizitätskonstante | Thermische Zersetzungstemperatur (C°) | Anmerkung  |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Fluor enthaltendes Harz       | 2,4                               | 420                                   | Seite 82 des Monatsblattes „Semiconductor World“, Ausgabe Februar 1997 |
| Cytop                         | 2,1                               | 400                                   | Seite 90 des Monatsblattes „Semiconductor World“, Ausgabe Februar 1996 |
| Amorphes Teflon               | 1,9                               | 400                                   | Seite 91 des Monatsblattes „Semiconductor World“, Ausgabe Februar 1996 |

[0007] Der SiOF-Film ist jedoch dahingehend nachteilig, dass ein Anstieg der F-Konzentration im Film zu einer Verringerung der Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption führt. Die verringerte Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption stellt ein ernsthaftes Problem dar, da eine Transistoreigenschaft und die Haftung einer oberen metallischen Sperrschicht beeinträchtigt werden.

[0008] Bei dem organischen isolierenden Film mit niedriger Dielektrizitätskonstante tritt leicht ein Abschälen auf, und zwar aufgrund der schlechten Haftung auf dem Silicon Wafer oder dem SiO<sub>2</sub>-Film. Darüber hinaus ist der organische isolierende Film dahingehend nachteilig, dass seine Wärmebeständigkeit niedrig ist, da eine thermische Zersetzungstemperatur um die 400°C beträgt. Der Nachteil der geringen Wärmebeständigkeit stellt ein Problem für das Annealen eines Wafers bei hoher Temperatur dar.

[0009] Die US-A-5 494 859 offenbart ein Verfahren zur Ausbildung einer isolierenden Schicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante, umfassend eine poröse isolierende Schicht.

[0010] Die US-A-5 744 399 offenbart ein Verfahren zum Absenken der Dielektrizitätskonstante einer Schicht auf einem Halbleiterwafer. Die Anwesenheit von Fulleren in der Verbundschicht ändert deren Dielektrizitätskonstante.

[0011] Die WO 99/12196 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verringern von Oxidfallen in einem SiO<sub>2</sub>-Film durch Einbau von Fluor in den Film.

[0012] Die EP-A-0 849 796 offenbart einen integrierten Schaltkreis mit zwischen Metallen liegenden Dielektrika, umfassend ein organisches Siliziumhydrid, das zwischen den metallischen Leitungen angeordnet ist.

[0013] Die US-A-5 614 270 offenbart eine über Flüssigphasenabscheidung gezogene SiO-Schicht, die einer Sauerstoff- oder Wasserstoff-Plasmabehandlung unterworfen wird, um die physikalischen und elektrischen Eigenschaften derselben zu verbessern.

[0014] Die EP-A-0 678 913 offenbart eine P-TEOS-Schicht, die aus einem gemischten Gas aus TEOS und O<sub>2</sub> mit Hilfe eines Plasma-CVD-Verfahrens ausgebildet wird.

#### Zusammenfassung der Erfindung

[0015] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Ausbildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante bereitzustellen, der gute Feuchtigkeitsadsorptionsbeständigkeit und Wärmebeständigkeit aufweist.

[0016] Ein poröser B-enthaltender SiO<sub>2</sub>-Film wird unter Anwendung von Trimethylsilicuborat ((CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>SiO)<sub>3</sub>B als Quellgas ausgebildet. Weitere bevorzugte Ausführungsformen sind in den angefügten Ansprüchen dargestellt.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0017] **Fig. 1A bis 1H** sind Querschnittsansichten, die Verfahren zum Ausbilden von isolierenden Filmen als Zwischenschichten gemäß der ersten, dritten, fünften und siebten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigen; und

[0018] die **Fig. 2A bis 2M** sind Querschnittsansichten, die Verfahren zum Ausbilden isolierender Filme als Zwischenschichten gemäß der zweiten, vierten, sechsten und achten Ausführungsform der Erfindung zeigen.

[0019] Als nächstes sollen die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die angefügten Zeichnungen beschrieben werden.

#### Erste Ausführungsform

[0020] Die **Fig. 1A** bis **1H** sind Querschnittsansichten, welche die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0021] Zunächst wird, wie in **Fig. 1A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borphosphosilicatglasfilm) **102** auf einem Siliziumsubstrat **101** ausgebildet. Anschließend wird, nachdem ein Aluminiumfilm auf dem BPSG-Film **102** ausgebildet wurde, eine Aluminiumverdrahtungsschicht **103** durch Mustern des Aluminiumfilmes ausgebildet. Das Siliziumsubstrat **101**, der BPSG-Film **102** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **103**, die auf diese Weise ausgebildet wurden, stellen ein zu bildendes Objekt **104** dar.

[0022] Anschließend wird, wie in **Fig. 1B** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **105** (darunterliegender isolierender Film) auf dem zu bildenden Objekt **104** ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) ausgebildet und SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden als Quellgase angewandt. Die Filmdicke des SiO<sub>2</sub>-Films **105** beträgt 100 nm. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **105** kann die Dispersion von H<sub>2</sub>O in der Aluminiumverdrahtungsschicht **103** verhindern, die Korrosion verursachen könnte.

[0023] Anschließend wird, wie in **Fig. 1C** gezeigt, ein Kohlenstoff oder Kohlenstoff und Wasserstoff enthaltender Film **106** (im Folgenden als Si-C (-H) bezeichnet) auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **105** (dem darunterliegenden isolierenden Film) ausgebildet. Dieser Si-C (-H)-Film **106** wird unter Anwendung von 50 sccm TEOS (Tetraethylorthosilicat) als Quellgas ausgebildet, und zwar unter Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W, während das Siliziumsubstrat **101** bei 100°C gehalten wird, und mittels Durchführen der Plasmapolymerisation von TEOS bei einem Druck von 1 Torr. Die Filmdicke dieses Si-C(-H)-Films **106** beträgt 500 nm. Es ist anzumerken, dass bei der Ausbildung des Si-C(-H)-Films **106** Trimethylsilylborat ( $\{(CH_3)_3SiO\}_3B$ ) erfindungsgemäß anstelle des TEOS verwendet wird. Wenn eines dieser Gase verwendet wird, beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 50 sccm, wobei die anderen Verfahrensbedingungen die gleichen wie im Falle der Verwendung von TEOS sind. Unter Anwendung des Trimethylsilylborats enthält der Si-C (-H)-Film **106** zusätzlich B (Bor).

[0024] Anschließend wird, wie in **Fig. 1D** gezeigt, eine O-Plasmabehandlung (Sauerstoff-Plasmabehandlung) an dem Si-C(-H)-Film **106** durchgeführt. Diese O-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm O<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz und einer Energie von 300 W an das O<sub>2</sub>. Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf 350°C gehalten.

[0025] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C(-H)-Film **106** enthaltene C oder H oxidiert und zur Außenseite des Films hin entsorgt. Lücken bilden sich in den Teilen, aus denen das C und das H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen werden in den Teilen gebildet. Somit wird der Si-C(-H)-Film **106** ein poröser SiO<sub>2</sub>-Film **107**.

[0026] Anschließend wird, wie in **Fig. 1E** gezeigt, eine Wasserstoff-Plasmabehandlung (H-Plasmabehandlung) an dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** durchgeführt.

[0027] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm H<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie weist eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W auf. Andererseits weist die RF-Energie, die an die untere Elektrode angelegt wird, eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W auf. Weiterhin beträgt der Druck während der H-Plasmabehandlung in der Kammer 0,1 bis 0,2 Torr und wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** bei 400°C gehalten. Schließlich dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0028] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Daher wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si anzubinden, was die Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessert.

[0029] Dementsprechend wird, wie in **Fig. 1F** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **108** auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **108** wird über ein CVD-Verfahren ausgebildet, das TEOS und O<sub>3</sub> als Quellgas enthält. Das in dem Quellgas enthaltene O<sub>3</sub> weist eine für die Oxidation von TEOS ausreichend hohe Konzentration auf. Dementsprechend zeigt der SiO<sub>2</sub>-Film **108** gute Fließeigenschaften und kann in beträchtlichem Maße planarisiert bzw. eingeebnet werden.

[0030] Anschließend wird, wie in **Fig. 1G** gezeigt, der SiO<sub>2</sub>-Film **108** über ein CMP-Verfahren (chemisch-mechanisches Polierverfahren) zum Einebnen seiner Oberfläche poliert. Zu diesem Zeitpunkt werden einige Teile der zuvor gebildeten SiO<sub>2</sub>-Filme **105** und **107** über das Polieren eliminiert. Die Einebnung über das CMP-Ver-

fahren sollte durchgeführt werden, um die vollständige Elimination des SiO<sub>2</sub>-Films **105**, der auf einer konvexen Stelle **103a** der Aluminiumverdrahtungsschicht ausgebildet ist, zu verhindern.

[0031] Anschließend wird, wie in **Fig. 1H** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **109** (isolierende Deckschicht) auf der eingeebneten Oberfläche ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **109** wird unter Anwendung eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens und unter Verwendung von SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O als Quellgase ausgebildet. Die Filmdicke des SiO<sub>2</sub>-Films **109** beträgt 100 nm.

[0032] Das vorstehende Verfahren zur Ausbildung der SiO<sub>2</sub>-Filme **105** (des darunterliegenden isolierenden Films), **107** und **109** (isolierender Deckfilm) führt zur Bildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante auf dem zu formenden Objekt **104**, der gute Wärmebeständigkeit und Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Dies beruht darauf, dass der SiO<sub>2</sub>-Film **107** porös ist bzw. Porosität aufweist, so dass seine relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen SiO<sub>2</sub>-Films ist. Außerdem kann, da der übliche SiO<sub>2</sub>-Film **109** auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** ausgebildet ist, das Eintreten von Wasser in den SiO<sub>2</sub>-Film **107** verhindert werden. Darüber hinaus kann das Durchführen der H-Plasmabehandlung für den SiO<sub>2</sub>-Film **107** die Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessern. Weiterhin weisen die SiO<sub>2</sub>-Filme **105**, **107** und **109** im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film bessere Wärmebeständigkeit auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

## 2. Ausführungsform

[0033] Bei der zweiten Ausführungsform handelt es sich um einen Fall der Anwendung der ersten Ausführungsform auf einen Fall eines Einschnittes (damascene trench).

[0034] Die **Fig. 2A** bis **2M** sind Querschnittsansichten, welche die zweite Ausführungsform veranschaulichen.

[0035] Zunächst wird, wie in **Fig. 2A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borphosphorsilicatglas-Film) **202** auf einem Siliziumsubstrat **201** gebildet. Nach Ausbilden einer Aluminiumschicht auf dem BPSG-Film **202**, wird eine Aluminiumverdrahtungsschicht **203** durch Mustern der Aluminiumschicht gebildet. Es sei angemerkt, dass die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** in den Figuren aus Bequemlichkeitsgründen nicht gemustert ist. Dann stellen das Siliziumsubstrat **201**, der BPSG-Film **202** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** ein zu bildendes Objekt **204** dar.

[0036] Dann wird, wie in **Fig. 2B** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **205** (darunterliegender isolierender Film) mit einer Filmdicke von 100 nm auf der Aluminiumverdrahtungsschicht **203** gebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **205** wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) gebildet, und SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden als Quellgase verwendet.

[0037] Anschließend wird, wie in **Fig. 2C** gezeigt, ein Si-C(-H)-Film **206** auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **205** (dem darunterliegenden isolierenden Film) gebildet. Dieser Si-C(-H)-Film **206** wird unter Anwendung von 50 sccm TEOS (Tetraethylorthosilicat) als Quellgas gebildet, und zwar unter Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W, während das Siliziumsubstrat **201** bei 100°C gehalten wird, und Durchführen einer Plasmapolymerisation für das TEOS bei einem Druck von 1 Torr. Die Filmdicke des Si-C(-H)-Films **206** beträgt 500 nm. Es ist zu bemerken, dass bei der Ausbildung des Si-C(-H)-Films **206** Trimethylsiliruborat ( $\{(CH_3)_3SiO\}_3B$ ) erfindungsgemäß anstelle des TEOS verwendet wird. Wenn eines dieser Gase verwendet wird, beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 50 sccm, die anderen Verfahrensbedingungen sind dieselben wie im Fall der Anwendung von TEOS. Unter Verwendung des Trimethylsiliruborats enthält der Si-C(-H)-Film **206** zusätzlich B (Bor).

[0038] Anschließend wird, wie in **Fig. 2D** gezeigt, eine O(Sauerstoff)-Plasmabehandlung für den Si-C(-H)-Film **206** durchgeführt. Diese Sauerstoff-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm O<sub>2</sub> an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz sowie einer Energie von 300 W an das O<sub>2</sub>. Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf 350°C gehalten.

[0039] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C(-H)-Film **206** enthaltene C oder H dann oxidiert und an die Außenseite des Films entsorgt. Lücken werden in Teilen gebildet, aus denen das C oder H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen in diesen Teilen gebildet. Dementsprechend wird der Si-C(-H)-Film **206** ein poröser SiO<sub>2</sub>-Film **207**.

[0040] Anschließend wird, wie in **Fig. 2E** gezeigt, eine H(Wasserstoff)-Plasmabehandlung an dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **207** durchgeführt.

[0041] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm H<sub>2</sub> an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie hat eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W. Demgegenüber hat die an die untere Elektrode angelegte RF-Energie eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W. Zusätzlich wird während der H-Plasmabehandlung der Druck in der Kammer auf 0,1–0,2 Torr und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** auf 400°C gehalten. Noch weiterhin dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0042] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Dementsprechend wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si zu binden, was die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitsadsorption verbessert.

[0043] Anschließend wird, wie in **Fig. 2F** gezeigt, ein Einschnitt (damascene trench) **208** durch Mustern des SiO<sub>2</sub>-Films **207** gebildet. Dieser Einschnitt **208** erreicht den SiO<sub>2</sub>-Film **205**, der unter dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** gebildet wurde.

[0044] Dann wird, wie in **Fig. 2G** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **209** (erster isolierender Film) auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** und auf den Seiten- und Bodenteilen des Einschnitts **208** gebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **209** wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens gebildet; SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden als Quellgase benutzt. Durch die auf den Seitenteilen des Einschnitts **208** gebildeten SiO<sub>2</sub>-Filme **209** kann man verhindern, dass später in dem Einschnitt **208** versenktes Kupfer im porösen SiO<sub>2</sub>-Film **207** dispergiert wird.

[0045] Anschließend erfolgt, wie in **Fig. 2H** gezeigt, ein anisotropes Ätzen des SiO<sub>2</sub>-Films **209** (des ersten isolierenden Films) und des SiO<sub>2</sub>-Films **205** (des darunterliegenden isolierenden Films) auf den Bodenteilen des Einschnitts **208**. Dementsprechend wird der SiO<sub>2</sub>-Film **209** entfernt, ausgenommen einen Teil desselben, der auf dem Seitenteil des Einschnitts **208** ausgebildet ist. Dementsprechend wird ein Kontaktloch, das die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** erreicht, unterhalb des Einschnitts **208** gebildet, da der unter dem Einschnitt **208** gebildete SiO<sub>2</sub>-Film **205** eliminiert wird.

[0046] Anschließend bildet man, wie in **Fig. 2I** gezeigt, einen Cu-platierten Film **210** in dem Einschnitt **208** und auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** aus. Der Cu-platierte Film **210**, der in dem Einschnitt **208** gebildet wird, dient als Cu-Leitung.

[0047] Danach wird, wie in **Fig. 2J** gezeigt, der auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** ausgebildete Cu-platierte Film **210** mit Hilfe eines CMP-Verfahrens poliert, um entfernt zu werden. Dementsprechend verbleibt der Cu-platierte Film nur in dem Einschnitt **208**.

[0048] Anschließend wird, wie in **Fig. 2K** gezeigt, ein metallischer Sperrfilm **211** aus TiN oberhalb des Einschnitts **208** gebildet. Dementsprechend verhindert man, dass das Cu in dem Einschnitt **208** in dem später über dem Einschnitt **208** gebildeten SiO<sub>2</sub>-Film dispergiert wird.

[0049] Danach mustert man, wie in **Fig. 2L** gezeigt, den TiN-Film **211**, um nur den über dem Einschnitt **208** gebildeten TiN-Film **211a** zu belassen; der auf anderen Teilen gebildete TiN-Film **211** wird zwecks Elimination abgeätzt.

[0050] Anschließend bildet man, wie in **Fig. 2M** gezeigt, einen SiO<sub>2</sub>-Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** und dem TiN-Film **211a**. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **212** wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren unter Anwendung von SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O als Quellgasen gebildet.

[0051] Der obenstehende Prozess führt zur Bildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante auf einem zu bildenden Objekt **204**, der gute Wärmebeständigkeit und gute Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Da der SiO<sub>2</sub>-Film **207** porös ist, ist dessen relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen SiO<sub>2</sub>-Films. Außerdem kann, da der übliche SiO<sub>2</sub>-Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **207** ausgebildet wird, der Eintritt von Wasser in den SiO<sub>2</sub>-Film **207** verhindert werden. Darüber hinaus kann die Durchführung der H-Plasmabehandlung an dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitadsorption verbessert werden. Darüber hinaus weisen die SiO<sub>2</sub>-Filme **207** und **212** eine bessere Wärmebeständigkeit im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

### 3. Ausführungsform

[0052] Eine dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten und zweiten Ausführungsform dahingehend, dass ein Kohlenstoff und Sauerstoff enthaltender oder ein Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff enthaltender Film (bezeichnet als Si-C-O(-H)-Film im Folgenden) durch Ausführen einer Plasmapolymerisation für TEOS und O<sub>2</sub> ausgebildet wird.

[0053] Die **Fig. 1A** bis **1H** sind Querschnittsansichten, welche die dritte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0054] Zunächst wird, wie in **Fig. 1A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borophosphosilicatglasfilm) **102** auf einem Siliziumsubstrat **101** ausgebildet. Anschließend wird, nachdem ein Aluminiumfilm auf dem BPSG-Film **102** ausgebildet wurde, eine Aluminiumverdrahtungsschicht **103** durch Mustern des Aluminiumfilmes ausgebildet. Das Siliziumsubstrat **101**, der BPSG-Film **102** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **103**, die auf diese Weise ausgebildet wurden, stellen ein zu bildendes Objekt **104** dar.

[0055] Anschließend wird, wie in **Fig. 1B** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **105** (darunterliegender isolierender Film) auf dem zu bildenden Objekt **104** ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **105** wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) ausgebildet und SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden als Quellgase angewandt. Die Filmdicke des SiO<sub>2</sub>-Films **105** beträgt 100 nm. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **105** kann die Dis-

persion von H<sub>2</sub>O in der Aluminiumverdrahtungsschicht **103** verhindern, die Korrosion verursachen könnte.

[0056] Anschließend wird, wie in **Fig. 1C** gezeigt, ein Si-C-O(-H)-Film **106** auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **105** (dem darunterliegenden isolierenden Film) ausgebildet. Dieser Si-C-O(-H)-Film **106** wird durch Plasmapolymerisation für TEOS und O<sub>2</sub> ausgebildet. Diese Plasmapolymerisation erfolgt durch Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W an das TEOS und O<sub>2</sub>. Die Strömungsgeschwindigkeiten für die Quellgase betragen diesmal 30 sccm für TEOS bzw. 240 sccm für O<sub>2</sub>. Bei der Bildung des Si-C-O(-H)-Films **106** wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** auf 400°C und der Druck bei 1 Torr gehalten. Die Filmdicke des Si-C-O(-H)-Films **106** beträgt 500 nm.

[0057] Es sei angemerkt, dass bei der Bildung des Si-C-O(-H)-Films **106** gemäß der Erfindung Trimethylsiliruborat ( $\{(\text{CH}_3)_3\text{SiO}\}_3\text{B}$ ) anstelle des TEOS verwendet wird. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 30 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind dieselben, wie im Falle der Verwendung von TEOS. Bei Verwendung des Trimethylsiliruborates enthält der Si-C-O(-H)-Film **106** zusätzlich B (Bor).

[0058] Anschließend wird, wie in **Fig. 1D** gezeigt, eine O-Plasmabehandlung (Sauerstoff-Plasmabehandlung) an dem Si-C-O(-H)-Film **106** durchgeführt. Diese O-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm O<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz und einer Energie von 300 W an das O<sub>2</sub>. Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf 350°C gehalten.

[0059] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C(-H)-Film **106** enthaltene C oder H oxidiert und zur Außenseite des Films hin entsorgt. Lücken bilden sich in den Teilen, aus denen das C und das H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen werden in den Teilen gebildet. Somit wird der Si-C(-H)-Film **106** ein poröser SiO<sub>2</sub>-Film **107**.

[0060] Anschließend wird, wie in **Fig. 1E** gezeigt, eine Wasserstoff-Plasmabehandlung (H-Plasmabehandlung) an dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** durchgeführt.

[0061] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm H<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie weist eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W auf. Andererseits weist die RF-Energie, die an die untere Elektrode angelegt wird, eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W auf. Weiterhin beträgt der Druck während der H-Plasmabehandlung in der Kammer 0,1 bis 0,2 Torr und wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** bei 400°C gehalten. Schließlich dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0062] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Daher wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si zu binden, was die Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessert.

[0063] Dementsprechend wird, wie in **Fig. 1F** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **108** auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **108** wird über ein CVD-Verfahren ausgebildet, das TEOS und O<sub>3</sub> enthaltendes Quellgas verwendet. Da das in dem Quellgas enthaltene O<sub>3</sub> eine für die Oxidation von TEOS ausreichend hohe Konzentration aufweist, zeigt der SiO<sub>2</sub>-Film **108** gute Fließeigenschaften und kann in beträchtlichem Maße planarisiert bzw. eingeebnet werden.

[0064] Anschließend wird, wie in **Fig. 1G** gezeigt, der SiO<sub>2</sub>-Film **108** über ein CMP-Verfahren (chemisch-mechanisches Polierverfahren) zum Einebnen seiner Oberfläche poliert. Zu diesem Zeitpunkt werden einige Teile der zuvor gebildeten SiO<sub>2</sub>-Filme **105** und **107** über das Polieren eliminiert. Die Einebnung über das CMP-Verfahren sollte so durchgeführt werden, um die vollständige Elimination des SiO<sub>2</sub>-Films **105**, der auf einer konvexen Stelle **103a** der Aluminiumverdrahtungsschicht ausgebildet ist, zu vermeiden.

[0065] Anschließend wird, wie in **Fig. 1H** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **109** (isolierende Deckschicht) auf der eingeebneten Oberfläche ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **109** wird unter Anwendung eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens und unter Verwendung von SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O als Quellgase ausgebildet. Die Filmdicke des SiO<sub>2</sub>-Films **109** beträgt 100 nm.

[0066] Das vorstehende Verfahren zur Ausbildung der SiO<sub>2</sub>-Filme **105** (des unterliegenden isolierenden Films), **107** und **109** (isolierender Deckfilm) führt zur Bildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante auf dem zu formenden Objekt **104**, der gute Wärmebeständigkeit und Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Dies beruht darauf, dass der SiO<sub>2</sub>-Film **107** porös ist bzw. Porosität aufweist, so dass seine relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen SiO<sub>2</sub>-Films ist. Außerdem kann, da der übliche SiO<sub>2</sub>-Film **109** auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** ausgebildet ist, das Eintreten von Wasser in den SiO<sub>2</sub>-Film **107** verhindert werden. Darüber hinaus kann die Durchführung der H-Plasmabehandlung für den SiO<sub>2</sub>-Film **107** die Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessern. Weiterhin weisen die SiO<sub>2</sub>-Filme **105**, **107** und **109** im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film bessere Wärmebeständigkeit auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

## 4. Ausführungsform

[0067] Bei der vierten Ausführungsform handelt es sich um einen Fall der Anwendung der dritten Ausführungsform auf einen Fall eines Einschnittes (damascene trench).

[0068] Die **Fig. 2A bis 2M** sind Querschnittsansichten, welche die vierte Ausführungsform veranschaulichen.

[0069] Zunächst wird, wie in **Fig. 2A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borphosphorsilicatglas-Film) **202** auf einem Siliziumsubstrat **201** gebildet. Nach Ausbilden einer Aluminiumschicht auf dem BPSG-Film **202**, wird eine Aluminiumverdrahtungsschicht **203** durch Mustern der Aluminiumschicht gebildet. Es sei angemerkt, dass die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** in den Figuren aus Bequemlichkeitsgründen nicht gemustert ist. Das Siliziumsubstrat **201**, der BPSG-Film **202** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** stellen ein zu bildendes Objekt **204** dar.

[0070] Dann wird, wie in **Fig. 2B** gezeigt, ein  $\text{SiO}_2$ -Film **205** (darunterliegender isolierender Film) mit einer Filmdicke von 100 nm auf der Aluminiumverdrahtungsschicht **203** gebildet. Dieser  $\text{SiO}_2$ -Film **205** wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) gebildet und  $\text{SiH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  werden als Quellgase verwendet.

[0071] Anschließend wird, wie in **Fig. 2C** gezeigt, ein Si-C-O(-H)-Film **206** auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **205** (dem darunterliegenden isolierendem Film) ausgebildet. Dieser Si-C-O(-H)-Film **206** wird durch Plasmapolymerisation für TEOS und  $\text{O}_2$  ausgebildet. Diese Plasmapolymerisation erfolgt durch Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W an das TEOS und  $\text{O}_2$ . Die Strömungsgeschwindigkeit der Quellgase sind diesmal 30 sccm bzw. 240 sccm für TEOS bzw.  $\text{O}_2$ . Bei der Ausbildung des Si-C-O(-H)-Films **206** wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** auf  $400^\circ\text{C}$  und der Druck auf 1 Torr gehalten. Die Filmdicke des Si-C-O(-H)-Films **206** beträgt 500 nm.

[0072] Es ist anzumerken, dass bei der Ausbildung des Si-C-O(-H)-Films **206** gemäß der Erfindung Trimethylsiliruborat ( $\{(\text{CH}_3)_3\text{SiO}\}_3\text{B}$ ) anstelle des TEOS verwendet wird. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 30 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind dieselben wie im Falle der Verwendung von TEOS. Unter Verwendung des Trimethylsiliruborates enthält der Si-C-O(-H)-Film **206** zusätzlich B (Bor).

[0073] Anschließend wird, wie in **Fig. 2D** gezeigt, eine O (Sauerstoff)-Plasmabehandlung für den Si-C-O(-H)-Film **206** durchgeführt. Diese Sauerstoff-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm  $\text{O}_2$  an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz sowie einer Energie von 300 W an das  $\text{O}_2$ . Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf  $350^\circ\text{C}$  gehalten.

[0074] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C-O(-H)-Film **206** enthaltene C oder H oxidiert und an die Außenseite des Films entsorgt. Lücken werden in Teilen gebildet, aus denen das C oder H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen in diesen Teilen gebildet. Dementsprechend wird der Si-C(-H)-Film **206** ein poröser  $\text{SiO}_2$ -Film **207**.

[0075] Anschließend wird, wie in **Fig. 2E** gezeigt, eine H (Wasserstoff)-Plasmabehandlung an dem porösen  $\text{SiO}_2$ -Film **207** durchgeführt.

[0076] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm  $\text{H}_2$  an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie hat eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W. Demgegenüber hat die an die untere Elektrode angelegte RF-Energie eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W. Zusätzlich wird während der H-Plasmabehandlung der Druck in der Kammer auf 0,1–0,2 Torr und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** auf  $400^\circ\text{C}$  gehalten. Noch weiterhin dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0077] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Dementsprechend wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si zu binden, was die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitsadsorption verbessert.

[0078] Anschließend wird, wie in **Fig. 2F** gezeigt, ein Einschnitt (damascene trench) **208** durch Mustern des  $\text{SiO}_2$ -Films **207** gebildet. Dieser Einschnitt **208** erreicht den  $\text{SiO}_2$ -Film **205**, der unter dem  $\text{SiO}_2$ -Film **207** gebildet wurde.

[0079] Dann wird, wie in **Fig. 2G** gezeigt, ein  $\text{SiO}_2$ -Film **209** (erster isolierender Film) auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **207** und auf den Seiten- und Bodenteilen des Einschnitts **208** gebildet. Dieser  $\text{SiO}_2$ -Film **209** wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens gebildet;  $\text{SiH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  werden als Quellgase benutzt. Durch die auf den Seitenteilen des Einschnitts **208** gebildeten  $\text{SiO}_2$ -Filme **209** kann man verhindern, dass später in dem Einschnitt **208** versenktes Kupfer im porösen  $\text{SiO}_2$ -Film **207** dispergiert wird.

[0080] Anschließend erfolgt, wie in **Fig. 2H** gezeigt, ein anisotropes Ätzen des  $\text{SiO}_2$ -Films **209** (des ersten isolierenden Films) und des  $\text{SiO}_2$ -Films **205** (des darunterliegenden isolierenden Films) auf den Bodenteilen des



Einschnittes **208**. Dementsprechend wird der  $\text{SiO}_2$ -Film **209** entfernt, ausgenommen einen Teil desselben, der auf dem Seitenteil des Einschnittes **208** ausgebildet ist. Dementsprechend wird ein Kontaktloch, das die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** erreicht, unterhalb des Einschnittes **208** gebildet, da der unter dem Einschnitt **208** gebildete  $\text{SiO}_2$ -Film **205** eliminiert wird.

[0081] Anschließend bildet man, wie in **Fig. 2I** gezeigt, einen Cu-platierten Film **210** in dem Einschnitt **208** und auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **207** aus. Der Cu-platierte Film **210**, der in dem Einschnitt **208** gebildet wird, dient als Cu-Leitung.

[0082] Danach wird, wie in **Fig. 2J** gezeigt, der auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **207** ausgebildete Cu-platierte Film **210** mit Hilfe eines CMP-Verfahrens poliert, um entfernt zu werden. Dementsprechend verbleibt der Cu-platierte Film nur in dem Einschnitt **208**.

[0083] Anschließend wird, wie in **Fig. 2K** gezeigt, ein metallischer Sperrfilm **211** aus TiN oberhalb des Einschnittes **208** gebildet. Dementsprechend verhindert man, dass das Cu in dem Einschnitt **208** in dem später über dem Einschnitt **208** gebildeten  $\text{SiO}_2$ -Film dispergiert wird.

[0084] Danach mustert man, wie in **Fig. 2L** gezeigt, den TiN-Film **211**, um nur den über dem Einschnitt **208** gebildeten TiN-Film **211a** zu belassen; der auf anderen Teilen gebildete TiN-Film **211** wird zwecks Elimination abgeätzt.

[0085] Anschließend bildet man, wie in **Fig. 2M** gezeigt, einen  $\text{SiO}_2$ -Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **207** und dem TiN-Film **211a**. Dieser  $\text{SiO}_2$ -Film **212** wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren unter Anwendung von  $\text{SiH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  als Quellgasen gebildet.

[0086] Der obenstehende Prozess führt zur Bildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante auf einem zu bildenden Objekt **204**, der gute Wärmebeständigkeit und gute Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Da der  $\text{SiO}_2$ -Film **207** porös ist, ist dessen relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen  $\text{SiO}_2$ -Films. Außerdem kann, da der übliche  $\text{SiO}_2$ -Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem porösen  $\text{SiO}_2$ -Film **207** ausgebildet wird, der Eintritt von Wasser in den  $\text{SiO}_2$ -Film **207** verhindert werden. Darüber hinaus kann die Durchführung der H-Plasmabehandlung an dem  $\text{SiO}_2$ -Film **207** die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitsadsorption verbessern. Darüber hinaus weisen die  $\text{SiO}_2$ -Filme **207** und **212** eine bessere Wärmebeständigkeit im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

## 5. Ausführungsform

[0087] Die fünfte Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten bis vierten Ausführungsform darin, dass anstelle der Ausbildung eines porösen  $\text{SiO}_2$ -Films ein poröser B-enthaltender  $\text{SiO}_2$ -Film ausgebildet wird.

[0088] Die **Fig. 1A** bis **1H** sind Querschnittsansichten, welche die fünfte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0089] Zunächst wird, wie in **Fig. 1A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borphosphosilicatglasfilm) **102** auf einem Siliziumsubstrat **101** ausgebildet. Anschließend wird, nachdem ein Aluminiumfilm auf dem BPSG-Film **102** ausgebildet wurde, eine Aluminiumverdrahtungsschicht **103** durch Mustern des Aluminiumfilmes ausgebildet. Das Siliziumsubstrat **101**, der BPSG-Film **102** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **103**, die auf diese Weise ausgebildet wurden, stellen ein zu bildendes Objekt **104** dar.

[0090] Anschließend wird, wie in **Fig. 1B** gezeigt, ein  $\text{SiO}_2$ -Film **105** (darunterliegender isolierender Film) auf dem zu bildenden Objekt **104** ausgebildet. Dieser  $\text{SiO}_2$ -Film wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) ausgebildet und  $\text{SiH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  werden als Quellgase angewandt. Die Filmdicke des  $\text{SiO}_2$ -Films **105** beträgt 100 nm. Dieser  $\text{SiO}_2$ -Film **105** kann die Dispersion von  $\text{H}_2\text{O}$  in der Aluminiumverdrahtungsschicht **103** verhindern, die Korrosion verursachen könnte.

[0091] Anschließend wird, wie in **Fig. 1C** gezeigt, ein Kohlenstoff und Bor oder Kohlenstoff, Bor und Wasserstoff enthaltender Film (im Folgenden als Si-C-B(-H)-Film bezeichnet) **106** auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **105** (dem darunter liegenden isolierenden Film) ausgebildet. Dieser Si-C-B (-H)-Film **106** wird unter Anwendung von TEOS und  $\text{B}_2\text{H}_6$  als Quellgasen, Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W ausgebildet, während das Siliziumsubstrat **101** bei 100°C gehalten wird, und mittels Durchführen einer Plasmapolymersation von TEOS und  $\text{B}_2\text{H}_6$  bei einem Druck von 1 Torr. Die Strömungsgeschwindigkeiten der Quellgase sind diesmal 30 sccm bzw. 24 sccm für TEOS und  $\text{B}_2\text{H}_6$ . Die Filmdicke des Si-C-B (-H)-Films **106** beträgt 500 nm.

[0092] Es ist anzumerken, dass bei der Ausbildung des Si-C-B(-H)-Films **106** Trimethylsiliruborat ( $\{(\text{CH}_3)_3\text{SiO}\}_3\text{B}$ ) anstelle des TEOS verwendet wird. Bei Verwendung eines dieser Gase ist die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 30 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen bleiben dieselben wie im Falle der Anwendung von TEOS.

[0093] Darüber hinaus können eines von TMB ( $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$ ) und TEB ( $\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ ) anstelle des  $\text{B}_2\text{H}_6$  verwendet werden. Wenn eines dieser Gase verwendet wird, beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 48 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen bleiben die gleichen wie oben.

[0094] Anschließend wird, wie in **Fig. 1D** gezeigt, eine O-Plasmabehandlung (Sauerstoff-Plasmabehandlung) an dem Si-C-B(-H)-Film **106** durchgeführt. Diese O-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm O<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz und einer Energie von 300 W an das O<sub>2</sub>. Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf 350°C gehalten.

[0095] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C-B(-H)-Film **106** enthaltene C oder H oxidiert und zur Außenseite des Films hin entsorgt. Lücken bilden sich in den Teilen, aus denen das C und das H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen werden in den Teilen gebildet. Somit wird der Si-C-B(-H)-Film **106** ein poröser SiO<sub>2</sub>-Film **107**.

[0096] Anschließend wird, wie in **Fig. 1E** gezeigt, eine Wasserstoff-Plasmabehandlung (H-Plasmabehandlung) an dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** durchgeführt.

[0097] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm H<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie weist eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W auf. Andererseits weist die RF-Energie, die an die untere Elektrode angelegt wird, eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W auf. Weiterhin beträgt der Druck während der H-Plasmabehandlung in der Kammer 0,1 bis 0,2 Torr und wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** bei 400°C gehalten. Schließlich dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0098] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Daher wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si zu binden, was die Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessert.

[0099] Dementsprechend wird, wie in **Fig. 1F** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **108** auf dem porösen Benthaltenden 107 SiO<sub>2</sub>-Film ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **108** wird über ein CVD-Verfahren ausgebildet, das TEOS und O<sub>3</sub> als Quellgas enthält. Da das in dem Quellgas enthaltene O<sub>3</sub> eine für die Oxidation von TEOS ausreichend hohe Konzentration aufweist, zeigt der SiO<sub>2</sub>-Film **108** gute Fließigenschaften und kann in beträchtlichem Maße planarisiert bzw. eingeebnet werden.

[0100] Anschließend wird, wie in **Fig. 1G** gezeigt, der SiO<sub>2</sub>-Film **108** über ein CMP-Verfahren (chemisch-mechanisches Polierverfahren) zum Einebnen seiner Oberfläche poliert. Zu diesem Zeitpunkt werden einige Teile der zuvor gebildeten SiO<sub>2</sub>-Filme **105** und **107** über das Polieren eliminiert. Die Einebnung über das CMP-Verfahren sollte durchgeführt werden, um die vollständige Elimination des SiO<sub>2</sub>-Films **105**, der auf einer konvexen Stelle **103a** der Aluminiumverdrahtungsschicht ausgebildet ist, zu vermeiden.

[0101] Anschließend wird, wie in **Fig. 1H** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **109** (isolierende Deckschicht) auf der eingeebneten Oberfläche ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **109** wird unter Anwendung eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens und unter Verwendung von SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O als Quellgase ausgebildet. Die Filmdicke des SiO<sub>2</sub>-Films **109** beträgt 100 nm.

[0102] Das vorstehende Verfahren zur Ausbildung der SiO<sub>2</sub>-Filme **105** (des unterliegenden isolierenden Films), **107** und **109** (isolierender Deckfilm) führt zur Bildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante auf dem zu formenden Objekt **104**, der gute Wärmebeständigkeit und Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Dies beruht darauf, dass der SiO<sub>2</sub>-Film **107** porös ist bzw. Porosität aufweist, so dass seine relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen SiO<sub>2</sub>-Films ist. Außerdem kann, da der übliche SiO<sub>2</sub>-Film **109** auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** ausgebildet ist, das Eintreten von Wasser in den SiO<sub>2</sub>-Film **107** verhindert werden. Darüber hinaus kann die Durchführung der H-Plasmabehandlung für den SiO<sub>2</sub>-Film **107** die Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessern. Weiterhin weisen die SiO<sub>2</sub>-Filme **105**, **107** und **109** im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film bessere Wärmebeständigkeit auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

## 6. Ausführungsform

[0103] Bei der sechsten Ausführungsform handelt es sich um einen Fall der Anwendung der fünften Ausführungsform auf einen Fall eines Einschnittes (damascene trench).

[0104] Die **Fig. 2A** bis **2M** sind Querschnittsansichten, welche die sechste Ausführungsform veranschaulichen.

[0105] Zunächst wird, wie in **Fig. 2A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borphosphorsilicatglas-Film) **202** auf einem Siliziumsubstrat **201** gebildet. Nach Ausbilden einer Aluminiumschicht auf dem BPSG-Film **202**, wird eine Aluminiumverdrahtungsschicht **203** durch Mustern der Aluminiumschicht gebildet. Es sei angemerkt, dass die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** in den Figuren aus Bequemlichkeitsgründen nicht gemustert ist. Das Siliziumsubstrat **201**, der BPSG-Film **202** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** stellen ein zu bildendes Objekt **204** dar.

[0106] Dann wird, wie in **Fig. 2B** gezeigt, ein  $\text{SiO}_2$ -Film **205** (darunterliegender isolierender Film) mit einer Filmdicke von 100 nm auf der Aluminiumverdrahtungsschicht **203** gebildet. Dieser  $\text{SiO}_2$ -Film **205** wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) gebildet und  $\text{SiH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  werden als Quellgase verwendet.

[0107] Anschließend wird, wie in **Fig. 2C** gezeigt, ein Si-C-B(-H)-Film **206** auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **205** ausgebildet (dem darunterliegenden isolierenden Film). Dieser Si-C-B(-H)-Film **206** wird unter Anwendung von TEOS (Tetraethylorthosilicat) und  $\text{B}_2\text{H}_6$  als Quellgase ausgebildet, und zwar unter Anwendung einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W, während das Siliziumsubstrat **201** auf  $100^\circ\text{C}$  gehalten wird, und Durchführen der Plasmapolymersation für TEOS und  $\text{B}_2\text{H}_6$  bei einem Druck von 1 Torr. Diesmal betragen die Strömungsgeschwindigkeiten der Quellgase 30 sccm bzw. 24 sccm für TEOS und  $\text{B}_2\text{H}_6$ . Die Filmdicke des Si-C-B(-H)-Films **206** beträgt 500 nm.

[0108] Es ist anzumerken, dass bei der Ausbildung des Si-C-B(-H)-Films **206** gemäß der Erfindung Trimethylsilylborat ( $\{(\text{CH}_3)_3\text{SiO}\}_3\text{B}$ ) anstelle des TEOS verwendet wird. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 30 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind die gleichen, wie im Falle der Anwendung von TEOS.

[0109] Darüber hinaus kann eines von TMB ( $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$ ) und TEB ( $\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ ) anstelle des  $\text{B}_2\text{H}_6$  verwendet werden. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 48 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind dieselben wie oben.

[0110] Anschließend wird, wie in **Fig. 2D** gezeigt, eine O (Sauerstoff)-Plasmabehandlung für den Si-C-B(-H)-Film **206** durchgeführt. Diese Sauerstoff-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm  $\text{O}_2$  an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz sowie einer Energie von 300 W an das  $\text{O}_2$ . Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf  $350^\circ\text{C}$  gehalten.

[0111] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C(-H)-Film **206** enthaltene C oder H oxidiert und an die Außenseite des Films entsorgt. Lücken werden in Teilen gebildet, aus denen das C oder H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen in diesen Teilen gebildet. Dementsprechend wird der Si-C(-H)-Film **206** ein poröser  $\text{SiO}_2$ -Film **207**.

[0112] Anschließend wird, wie in **Fig. 2E** gezeigt, eine H (Wasserstoff)-Plasmabehandlung an dem porösen  $\text{SiO}_2$ -Film **207** durchgeführt.

[0113] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm  $\text{H}_2$  an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie hat eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W. Demgegenüber hat die an die untere Elektrode angelegte RF-Energie eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W. Zusätzlich wird während der H-Plasmabehandlung der Druck in der Kammer auf 0,1–0,2 Torr und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** auf  $400^\circ\text{C}$  gehalten. Noch weiterhin dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0114] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Dementsprechend wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si zu binden, was die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitsadsorption verbessert.

[0115] Anschließend wird, wie in **Fig. 2F** gezeigt, ein Einschnitt (damascene trench) **208** durch Mustern des  $\text{SiO}_2$ -Films **207** gebildet. Dieser Einschnitt **208** erreicht den  $\text{SiO}_2$ -Film **205**, der unter dem B-enthaltenen  $\text{SiO}_2$ -Film **207** gebildet wurde.

[0116] Dann wird, wie in **Fig. 2G** gezeigt, ein  $\text{SiO}_2$ -Film **209** (erster isolierender Film) auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film und auf den Seiten- und Bodenteilen des Einschnitts **208** gebildet. Dieser  $\text{SiO}_2$ -Film wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens gebildet;  $\text{SiH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  werden als Quellgase benutzt. Durch die auf den Seitenteilen des Einschnitts **208** gebildeten  $\text{SiO}_2$ -Filme **209** kann man verhindern, dass später in dem Einschnitt **208** versenktes Kupfer im porösen  $\text{SiO}_2$ -Film **207** dispergiert wird.

[0117] Anschließend erfolgt, wie in **Fig. 2H** gezeigt, ein anisotropes Ätzen des  $\text{SiO}_2$ -Films **209** (des ersten isolierenden Films) und des  $\text{SiO}_2$ -Films **205** (des darunterliegenden isolierenden Films) unterhalb des Einschnitts **208**. Dementsprechend wird der  $\text{SiO}_2$ -Film **209** entfernt, ausgenommen einen Teil desselben, der auf dem Seitenteil des Einschnitts **208** ausgebildet ist. Dementsprechend wird ein Kontaktloch, das die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** erreicht, unterhalb des Einschnitts **208** gebildet, da der unter dem Einschnitt **208** gebildete  $\text{SiO}_2$ -Film **205** eliminiert wird.

[0118] Anschließend bildet man, wie in **Fig. 2I** gezeigt, einen Cu-platierten Film **210** in dem Einschnitt **208** und auf dem B-enthaltenen  $\text{SiO}_2$ -Film **207** aus. Der Cu-platierte Film **210**, der in dem Einschnitt **208** gebildet wird, dient als Cu-Leitung.

[0119] Danach wird, wie in **Fig. 2J** gezeigt, der auf dem  $\text{SiO}_2$ -Film **207** ausgebildete Cu-platierte Film **210** mit Hilfe eines CMP-Verfahrens poliert, um entfernt zu werden. Dementsprechend verbleibt der Cu-platierte Film

nur in dem Einschnitt **208**.

[0120] Anschließend wird, wie in **Fig. 2K** gezeigt, ein metallischer Sperrfilm **211** aus TiN oberhalb des Einschnittes **208** gebildet. Dementsprechend verhindert man, dass das Cu in dem Einschnitt **208** in dem später über dem Einschnitt **208** gebildeten SiO<sub>2</sub>-Film dispergiert wird.

[0121] Danach mustert man, wie in **Fig. 2L** gezeigt, den TiN-Film **211**, um nur den über dem Einschnitt **208** gebildeten TiN-Film **211a** zu belassen; der auf anderen Teilen gebildete TiN-Film **211** wird zwecks Elimination abgeätzt.

[0122] Anschließend bildet man, wie in **Fig. 2M** gezeigt, einen SiO<sub>2</sub>-Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** und dem TiN-Film **211a**. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **212** wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren unter Anwendung von SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O als Quellgasen gebildet.

[0123] Der obenstehende Prozess führt zur Bildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante auf einem zu bildenden Objekt **204**, der gute Wärmebeständigkeit und gute Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Da der SiO<sub>2</sub>-Film **207** porös ist, ist dessen relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen SiO<sub>2</sub>-Films. Außerdem kann, da der übliche SiO<sub>2</sub>-Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **207** ausgebildet wird, der Eintritt von Wasser in den Benthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** verhindert werden. Darüber hinaus kann die Durchführung der H-Plasma-Behandlung an dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitsadsorption verbessert werden. Darüber hinaus weisen der B-enthaltende SiO<sub>2</sub>-Film **207** und der SiO<sub>2</sub>-Film **212** eine bessere Wärmebeständigkeit im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

## 7. Ausführungsform

[0124] In einer siebten Ausführungsform wird ein Film, enthaltend Kohlenstoff, Bor und Sauerstoff, oder ein Film, enthaltend Kohlenstoff, Bor, Sauerstoff und Wasserstoff, (im Folgenden als Si-C-B-O(-H)-Film bezeichnet) gebildet, um einen porösen B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film zu bilden.

[0125] Die **Fig. 1A** bis **1H** sind Querschnittsansichten, welche die siebte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

[0126] Zunächst wird, wie in **Fig. 1A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borphosphosilicatglasfilm) **102** auf einem Siliziumsubstrat **101** ausgebildet. Anschließend wird, nachdem ein Aluminiumfilm auf dem BPSG-Film **102** ausgebildet wurde, erfolgt ein Mustern des Aluminiumfilmes zur Bildung einer Aluminiumverdrahtungsschicht **103**. Das Siliziumsubstrat **101**, der BPSG-Film **102** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **103**, die auf diese Weise ausgebildet wurden, stellen ein zu bildendes Objekt **104** dar.

[0127] Anschließend wird, wie in **Fig. 1B** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **105** (darunterliegender isolierender Film) auf dem zu bildenden Objekt **104** ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **105** wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) ausgebildet und SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden als Quellgase angewandt. Die Filmdicke des SiO<sub>2</sub>-Films **105** beträgt 100 nm. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **105** kann die Dispersion von H<sub>2</sub>O in der Aluminiumverdrahtungsschicht **103** verhindern, die Korrosion verursachen könnte.

[0128] Anschließend wird, wie in **Fig. 1C** gezeigt, ein Si-C-B-O(-H)-Film **106** auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **105** (dem darunterliegenden isolierenden Film) gebildet. Dieser Si-C-B-O(-H)-Film **106** wird mittels Plasmapolymerisation für TEOS, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> und O<sub>2</sub> gebildet. Diese Plasmapolymerisation erfolgt durch Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W an das TEOS, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> und O<sub>2</sub>. Die Strömungsgeschwindigkeiten der Quellgase sind diesmal 30 sccm, 24 sccm bzw. 260 sccm für TEOS, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> bzw. O<sub>2</sub>. Bei der Bildung des Si-C-B-O(-H)-Films **106** wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** auf 400°C und der Druck auf 1 Torr gehalten. Die Filmdicke des Si-C-B-O(-H)-Films **106** beträgt 500 nm.

[0129] Es sei angemerkt, dass bei der Bildung des Si-C-B-O(-H)-Films **106** gemäß der Erfindung Trimethylsiliruborat ((CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>SiO<sub>3</sub>B) anstelle des TEOS verwendet wird. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 30 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind die gleichen wie im Falle der Verwendung von TEOS.

[0130] Darüber hinaus kann eines von TMB (B(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) und TEB (B(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>) anstelle des B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> verwendet werden. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 48 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind dieselben wie oben.

[0131] Anschließend wird, wie in **Fig. 1D** gezeigt, eine O-Plasmabehandlung (Sauerstoff-Plasmabehandlung) an dem Si-C-B-O(-H)-Film **106** durchgeführt. Diese O-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm O<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz und einer Energie von 300 W an das O<sub>2</sub>. Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf 350°C gehalten.

[0132] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C-B-O(-H)-Film **106** enthaltene C oder H oxidiert und zur Außenseite des Films hin entsorgt. Lücken bilden sich in den Teilen, aus denen das C und das

H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen werden in den Teilen gebildet. Somit wird der Si-C(-H)-Film **106** ein poröser SiO<sub>2</sub>-Film **107**.

[0133] Anschließend wird, wie in **Fig. 1E** gezeigt, eine Wasserstoff-Plasmabehandlung (H-Plasmabehandlung) an dem porösen B-enhaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **107** durchgeführt.

[0134] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm H<sub>2</sub> in einer Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie weist eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W auf. Andererseits weist die RF-Energie, die an die untere Elektrode angelegt wird, eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W auf. Weiterhin beträgt der Druck während der H-Plasmabehandlung in der Kammer 0,1 bis 0,2 Torr und wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **101** bei 400°C gehalten. Schließlich dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0135] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Daher wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si zu binden, was die Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessert.

[0136] Anschließend wird, wie in **Fig. 1F** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **108** auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **108** wird über ein CVD-Verfahren ausgebildet, das TEOS und O<sub>3</sub> als Quellgas enthält. Da das in dem Quellgas enthaltene O<sub>3</sub> in diesem Fall eine für die Oxidation von TEOS ausreichend hohe Konzentration aufweist, zeigt der SiO<sub>2</sub>-Film **108** gute Fließeigenschaften und kann in beträchtlichem Maße planarisiert bzw. eingeebnet werden.

[0137] Anschließend wird, wie in **Fig. 1G** gezeigt, der SiO<sub>2</sub>-Film **108** über ein CMP-Verfahren (chemisch-mechanisches Polierverfahren) zum Einebnen seiner Oberfläche poliert. Zu diesem Zeitpunkt werden einige Teile des zuvor gebildeten SiO<sub>2</sub>-Films **105** und des B-enhaltenden SiO<sub>2</sub>-Films **107** über das Polieren eliminiert. Die Einebnung über das CMP-Verfahren sollte durchgeführt werden, um die vollständige Elimination des SiO<sub>2</sub>-Films **105**, der auf einer konvexen Stelle **103a** der Aluminiumverdrahtungsschicht ausgebildet ist, zu vermeiden.

[0138] Anschließend wird, wie in **Fig. 1H** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **109** (isolierende Deckschicht) auf der eingeebneten Oberfläche ausgebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **109** wird unter Anwendung eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens und unter Verwendung von SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O als Quellgase ausgebildet. Die Filmdicke des SiO<sub>2</sub>-Films **109** beträgt 100 nm.

[0139] Das vorstehende Verfahren zur Ausbildung der SiO<sub>2</sub>-Filme **105** (des unterliegenden isolierenden Films) und **109** (isolierender Deckfilm) sowie des B-enhaltenden SiO<sub>2</sub>-Films **107** führt zur Bildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante auf dem zu formenden Objekt **104**, der gute Wärmebeständigkeit und Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Dies beruht darauf, dass der SiO<sub>2</sub>-Film **107** porös ist bzw. Porosität aufweist, so dass seine relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen SiO<sub>2</sub>-Films ist. Außerdem kann, da der übliche SiO<sub>2</sub>-Film **109** auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film **107** ausgebildet ist, das Eintreten von Wasser in den SiO<sub>2</sub>-Film **107** verhindert werden. Darüber hinaus kann die Durchführung der H-Plasmabehandlung für den SiO<sub>2</sub>-Film **107** die Beständigkeit gegen Feuchtigkeitsadsorption durch den Film verbessern. Weiterhin weisen die SiO<sub>2</sub>-Filme **105** und **109** und der B-enhaltende SiO<sub>2</sub>-Film **107** im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film bessere Wärmebeständigkeit auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

## 8. Ausführungsform

[0140] Bei der achten Ausführungsform handelt es sich um einen Fall der Anwendung der siebten Ausführungsform auf einen Fall eines Einschnittes (damascene trench).

[0141] Die **Fig. 2A** bis **2M** sind Querschnittsansichten, welche die achte Ausführungsform veranschaulichen.

[0142] Zunächst wird, wie in **Fig. 2A** gezeigt, ein BPSG-Film (Borphosphorsilicatglas-Film) **202** auf einem Siliziumsubstrat **201** gebildet. Nach Ausbilden einer Aluminiumschicht auf demselben erfolgt ein Mustern der Aluminiumschicht zur Bildung einer Aluminiumverdrahtungsschicht **203**. Es sei angemerkt, dass die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** in den Figuren aus Bequemlichkeitsgründen nicht gemustert ist. Das Siliziumsubstrat **201**, der BPSG-Film **202** und die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** stellen ein zu bildendes Objekt **204** dar.

[0143] Dann wird, wie in **Fig. 2B** gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **205** (darunterliegender isolierender Film) mit einer Filmdicke von 100 nm auf der Aluminiumverdrahtungsschicht **203** gebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **205** wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens (plasmaverstärktes chemisches Dampfabscheidungsverfahren) gebildet und SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden als Quellgase verwendet.

[0144] Anschließend wird, wie in **Fig. 1C** gezeigt, ein Si-C-B-O(-H)-Film **106** auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **205** (dem darunterliegenden isolierenden Film) gebildet. Dieser Si-C-B-O(-H)-Film **206** wird unter Anwendung von TEOS (Tetraethylorthosilicat), B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> und O<sub>2</sub> und mittels Plasmapolymerisation gebildet. Diese Plasmapolymerisation

erfolgt durch Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 13,56 MHz und einer Energie von 100 W an das TEOS, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> und O<sub>2</sub>. Die Strömungsgeschwindigkeiten der Quellgase sind diesmal 30 sccm, 24 sccm bzw. 260 sccm für TEOS, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> bzw. O<sub>2</sub>. Bei der Bildung des Si-C-B-O(-H)-Films **206** wird die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** auf 400°C und der Druck auf 1 Torr gehalten. Die Filmdicke des Si-C-B-O(-H)-Films **206** beträgt 500 nm.

[0145] Es sei angemerkt, dass bei der Bildung des Si-C-B-O(-H)-Films **206** gemäß der Erfindung Trimethylsilylborat ( $\{(\text{CH}_3)_3\text{SiO}\}_3\text{B}$ ) anstelle des TEOS verwendet wird. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 30 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind die gleichen wie im Falle der Verwendung von TEOS.

[0146] Darüber hinaus kann eines von TMB (B(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) und TEB (B(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>) anstelle des B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> verwendet werden. Bei Verwendung eines dieser Gase beträgt die Strömungsgeschwindigkeit des Gases 48 sccm und die anderen Verfahrensbedingungen sind dieselben wie oben.

[0147] Anschließend wird, wie in Fig. 2D gezeigt, eine O (Sauerstoff)-Plasmabehandlung für den Si-C-B-O(-H)-Film **206** durchgeführt. Diese Sauerstoff-Plasmabehandlung erfolgt unter Bereitstellung von 600 sccm O<sub>2</sub> an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie mit einer Frequenz von 400 kHz sowie einer Energie von 300 W an das O<sub>2</sub>. Die Dauer der Sauerstoff-Plasmabehandlung beträgt 360 Sekunden und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** wird während der Sauerstoff-Plasmabehandlung auf 350°C gehalten.

[0148] In dieser Sauerstoff-Plasmabehandlung wird das in dem Si-C(-H)-Film **206** enthaltene C oder H oxidiert und an die Außenseite des Films entsorgt. Lücken werden in Teilen gebildet, aus denen das C oder H entsorgt worden ist, und Si-O-Bindungen in diesen Teilen gebildet. Dementsprechend wird der Si-C(-H)-Film **206** ein poröser SiO<sub>2</sub>-Film **207**.

[0149] Anschließend wird, wie in Fig. 2E gezeigt, eine H (Wasserstoff)-Plasmabehandlung an dem porösen; B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** durchgeführt.

[0150] Diese H-Plasmabehandlung erfolgt durch Bereitstellen von 600 sccm H<sub>2</sub> an eine Kammer (nicht gezeigt) und Anlegen einer RF-Energie an obere und untere Elektroden (nicht gezeigt), die einander in der Kammer gegenüberliegen. Die an die obere Elektrode angelegte RF-Energie hat eine Frequenz von 13,56 MHz und eine Energie von 50 W. Demgegenüber hat die an die untere Elektrode angelegte RF-Energie eine Frequenz von 400 kHz und eine Energie von 400 W. Zusätzlich wird während der H-Plasmabehandlung der Druck in der Kammer auf 0,1 – 0,2 Torr und die Temperatur des Siliziumsubstrats **201** auf 400°C gehalten. Noch weiterhin dauert die H-Plasmabehandlung 60 Sekunden.

[0151] Die H-Plasmabehandlung ersetzt Si-H-Bindungen anstelle der freien Bindungen des Si in einer Si-O-Bindung an der Oberfläche der Lücke. Dementsprechend wird es OH-Radikalen und Wasser erschwert, an die freien Bindungen des Si zu binden, was die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitsadsorption verbessert.

[0152] Anschließend erfolgt, wie in Fig. 2F gezeigt, ein Mustern des B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Films **207** zur Bildung eines Einschnittes (damascene trench) **208**. Dieser Einschnitt **208** erreicht den SiO<sub>2</sub>-Film **205**, der unter dem B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** gebildet wurde.

[0153] Dann wird, wie in Fig. 2G gezeigt, ein SiO<sub>2</sub>-Film **209** (erster isolierender Film) auf dem B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** und auf den Seiten- und Bodenteilen des Einschnitts **208** gebildet. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **209** wird mit Hilfe eines plasmaverstärkten CVD-Verfahrens gebildet; SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O werden als Quellgase benutzt. Durch die auf den Seitenteilen des Einschnitts **208** gebildeten SiO<sub>2</sub>-Filme **209** kann man verhindern, dass später in dem Einschnitt **208** versenktes Kupfer im porösen, B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** dispergiert wird.

[0154] Anschließend erfolgt, wie in Fig. 2H gezeigt, ein anisotropes Ätzen des SiO<sub>2</sub>-Films **209** (des ersten isolierenden Films) und des SiO<sub>2</sub>-Films **205** (des darunterliegenden isolierenden Films) unterhalb des Einschnitts **208**. Dementsprechend wird der SiO<sub>2</sub>-Film **209** entfernt, ausgenommen einen Teil desselben, der auf dem Seitenteil des Einschnitts **208** ausgebildet ist. Dementsprechend wird ein Kontaktloch, das die Aluminiumverdrahtungsschicht **203** erreicht, unterhalb des Einschnitts **208** gebildet, da der unter dem Einschnitt **208** gebildete SiO<sub>2</sub>-Film **205** eliminiert wird.

[0155] Anschließend bildet man, wie in Fig. 2I gezeigt, einen Cu-platierten Film **210** in dem Einschnitt **208** und auf dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** aus. Der Cu-platierte Film **210**, der in dem Einschnitt **208** gebildet wird, dient als Cu-Leitung.

[0156] Danach wird, wie in Fig. 2J gezeigt, der auf dem B-enthaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** ausgebildete Cu-platierte Film **210** mit Hilfe eines CMP-Verfahrens poliert, um entfernt zu werden. Dementsprechend verbleibt der Cu-platierte Film nur in dem Einschnitt **208**.

[0157] Anschließend wird, wie in Fig. 2K gezeigt, ein metallischer Sperrfilm **211** aus TiN oberhalb des Einschnitts **208** gebildet. Dementsprechend verhindert man, dass das Cu in dem Einschnitt **208** in dem später über dem Einschnitt **208** gebildeten SiO<sub>2</sub>-Film dispergiert wird.

[0158] Danach mustert man, wie in Fig. 2L gezeigt, den TiN-Film **211**, um nur den über dem Einschnitt **208** gebildeten TiN-Film **211a** zu belassen; der auf anderen Teilen gebildete TiN-Film **211** wird zwecks Elimination

abgeätzt.

[0159] Anschließend bildet man, wie in **Fig. 2M** gezeigt, einen SiO<sub>2</sub>-Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem B-enhaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** und dem TiN-Film **211a**. Dieser SiO<sub>2</sub>-Film **212** wird über ein plasmaverstärktes CVD-Verfahren unter Anwendung von SiH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O als Quellgasen gebildet.

[0160] Der obenstehende Prozess führt zur Bildung eines isolierenden Films mit niedriger Dielektrizitätskonstante als Zwischenschicht auf einem zu bildenden Objekt **204**, der gute Wärmebeständigkeit und gute Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitsadsorption aufweist. Da der B-enhaltende SiO<sub>2</sub>-Film **207** porös ist, ist dessen relative Dielektrizitätskonstante kleiner als diejenige eines üblichen SiO<sub>2</sub>-Films. Außerdem kann, da der übliche SiO<sub>2</sub>-Film **212** (isolierender Deckfilm) auf dem porösen, B-enhaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** ausgebildet wird, der Eintritt von Wasser in den B-enhaltenden SiO<sub>2</sub>-Film **207** verhindert werden. Darüber hinaus kann die Durchführung der H-Plasmabehandlung an dem SiO<sub>2</sub>-Film **207** die Beständigkeit des Films gegenüber Feuchtigkeitsadsorption verbessern. Darüber hinaus weisen der B-enhaltende SiO<sub>2</sub>-Film **207** und der SiO<sub>2</sub>-Film **212** eine bessere Wärmebeständigkeit im Vergleich zu dem organischen isolierenden Film auf, da diese Filme hauptsächlich aus Si und O bestehen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Ausbildung eines isolierenden Films als Zwischenschicht, umfassend die Schritte:  
Anlegen einer RF-Energie an ein Ausgangsmaterialgas, das eine erste Verbindung enthält, um die erste Verbindung zu polymerisieren, worin die erste Verbindung Si, C und H enthält und Trimethylsilirborat  $\{(CH_3)_3SiO\}_3B$  darstellt, wobei die polymerisierte erste Verbindung einen Film (**106, 206**) auf einem Objekt (**104, 204**) bildet, worin der Film (**106, 206**) Si, C und H enthält;  
Verarbeiten dieses Films (**106, 206**) zu einem porösen SiO<sub>2</sub>-Film (**107, 207**) durch Oxidieren mit Hilfe von Sauerstoffplasma mindestens eines von C und H, enthalten in dem Film (**106, 206**), und Durchführen einer Wasserstoff-Plasmabehandlung an dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film (**107, 207**).
2. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, worin das Ausgangsmaterialgas zusätzlich O<sub>2</sub> enthält, wobei das O<sub>2</sub> und die erste Verbindung durch die RF-Energie zur Bildung des Films (**106, 206**) polymerisiert werden.
3. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, worin das Ausgangsmaterialgas zusätzlich H<sub>2</sub>O enthält, worin das H<sub>2</sub>O und die erste Verbindung durch die RF-Energie zur Bildung des Films (**106, 206**) polymerisiert werden.
4. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, worin das Ausgangsmaterialgas zusätzlich eine zweite Verbindung enthält, die B und H enthält, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, TMB B(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> und TEB B(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>, worin die zweite Verbindung mit der ersten Verbindung durch die RF-Energie zur Bildung des Films (**106, 206**) polymerisiert wird und worin der poröse SiO<sub>2</sub>-Film (**107, 207**) zusätzlich das B enthält.
5. Das Verfahren gemäß Anspruch 4, worin das Ausgangsmaterialgas zusätzlich O<sub>2</sub> enthält, worin das O<sub>2</sub>, die erste Verbindung und die zweite Verbindung durch die RF-Energie zur Bildung des Films (**106, 206**) polymerisiert werden.
6. Das Verfahren gemäß Anspruch 4, worin das Ausgangsmaterialgas zusätzlich H<sub>2</sub>O enthält, worin das H<sub>2</sub>O, die erste Verbindung und die zweite Verbindung durch die RF-Energie zur Bildung des Films (**106, 206**) polymerisiert werden.
7. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, worin dem Ausgangsmaterialgas ein Inertgas zugesetzt wird.
8. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, worin ein darunter liegender isolierender Film (**105, 205**) auf dem Objekt (**104, 204**) gebildet wird und der poröse SiO<sub>2</sub>-Film (**107, 207**) auf dem darunter liegenden isolierenden Film (**105, 205**) ausgebildet wird.
9. Das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zusätzlich umfassend die Schritte: Ausbilden eines Einschnittes (**208**) (Damaszene trench) in dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film (**207**), nachdem der poröse SiO<sub>2</sub>-Film (**207**) auf dem Objekt (**204**) ausgebildet ist; Ausbilden eines isolierenden Seitenwandfilms auf einem Seitenteil des Einschnittes (**208**); Versenken eines metallischen Films (**210**) in dem Einschnitt (**208**); und Ausbilden eines metallischen Sperrfilms (**211a**) auf dem metallischen Film (**210**).
10. Das Verfahren gemäß Anspruch 9, worin der isolierende Seitenwandfilm durch Ausbilden eines ersten isolierenden Films (**209**) auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film (**207**) und auf Seiten- und Bodenteilen des Einschnittes

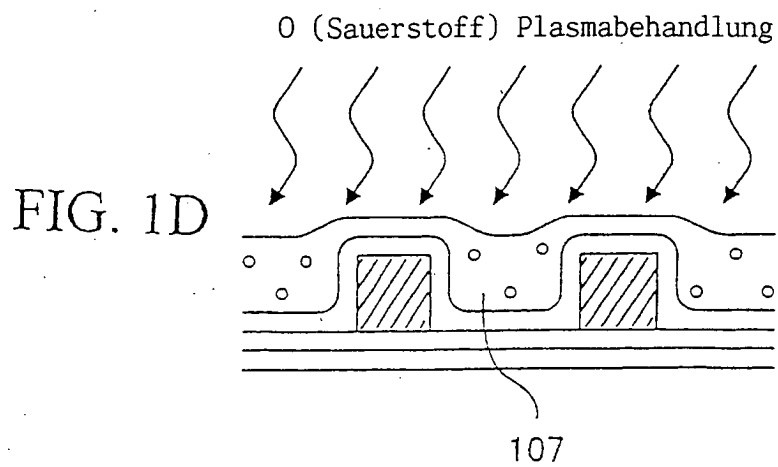
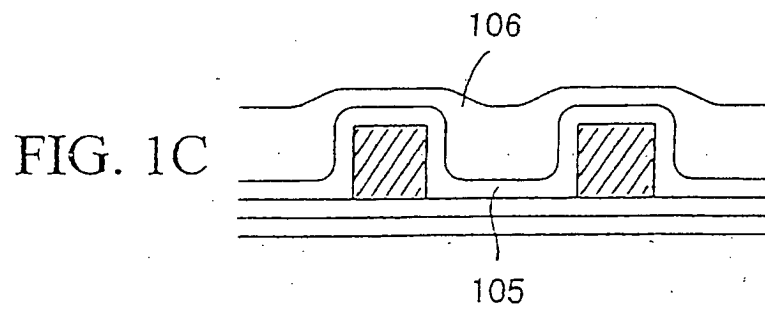
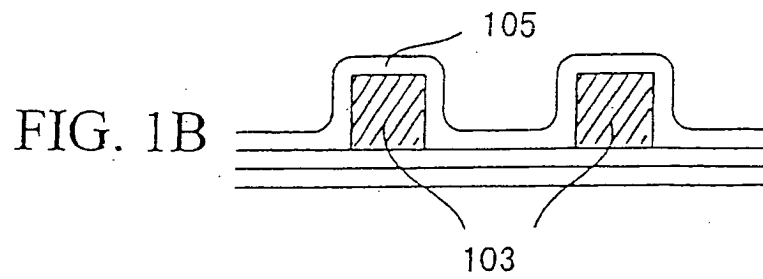
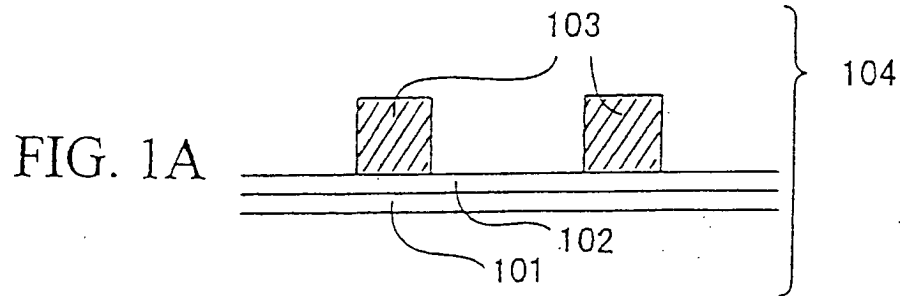
(**208**) nach Ausbildung des Einschnittes (**208**) und anisotropisches Ätzen des ersten isolierenden Films (**209**), so dass ein Teil desselben auf dem Seitenteil des Einschnittes (**208**) verbleibt und ein Teil desselben auf dem Bodenteil des Einschnittes (**208**) entfernt wird, ausgebildet wird.

11. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, zusätzlich umfassend die Schritte: Ausbilden eines isolierenden Deckfilms (**109**, **212**) auf dem porösen SiO<sub>2</sub>-Film (**107**, **207**) nach Ausbilden des porösen SiO<sub>2</sub>-Films (**107**, **207**).

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen



H (Wasserstoff) Plasmabehandlung

FIG. 1E

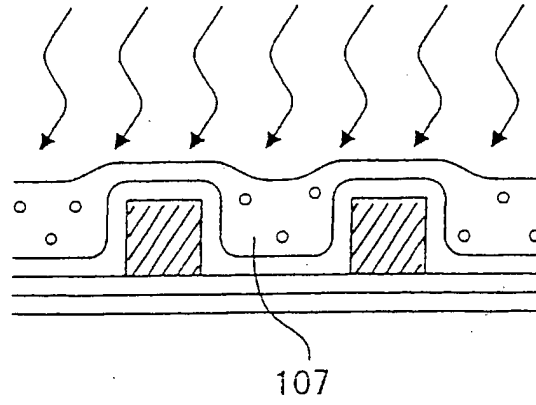


FIG. 1F

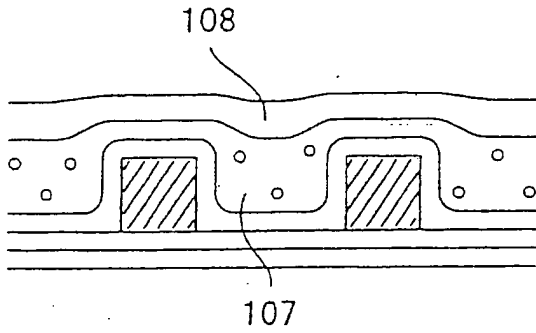


FIG. 1G

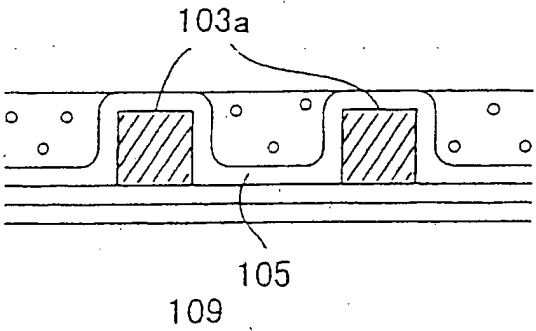
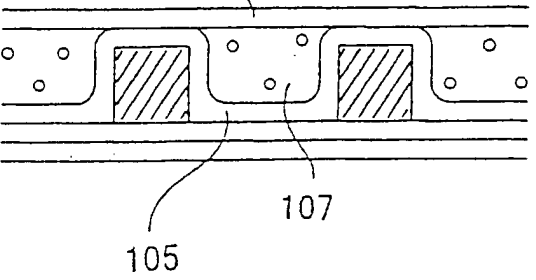
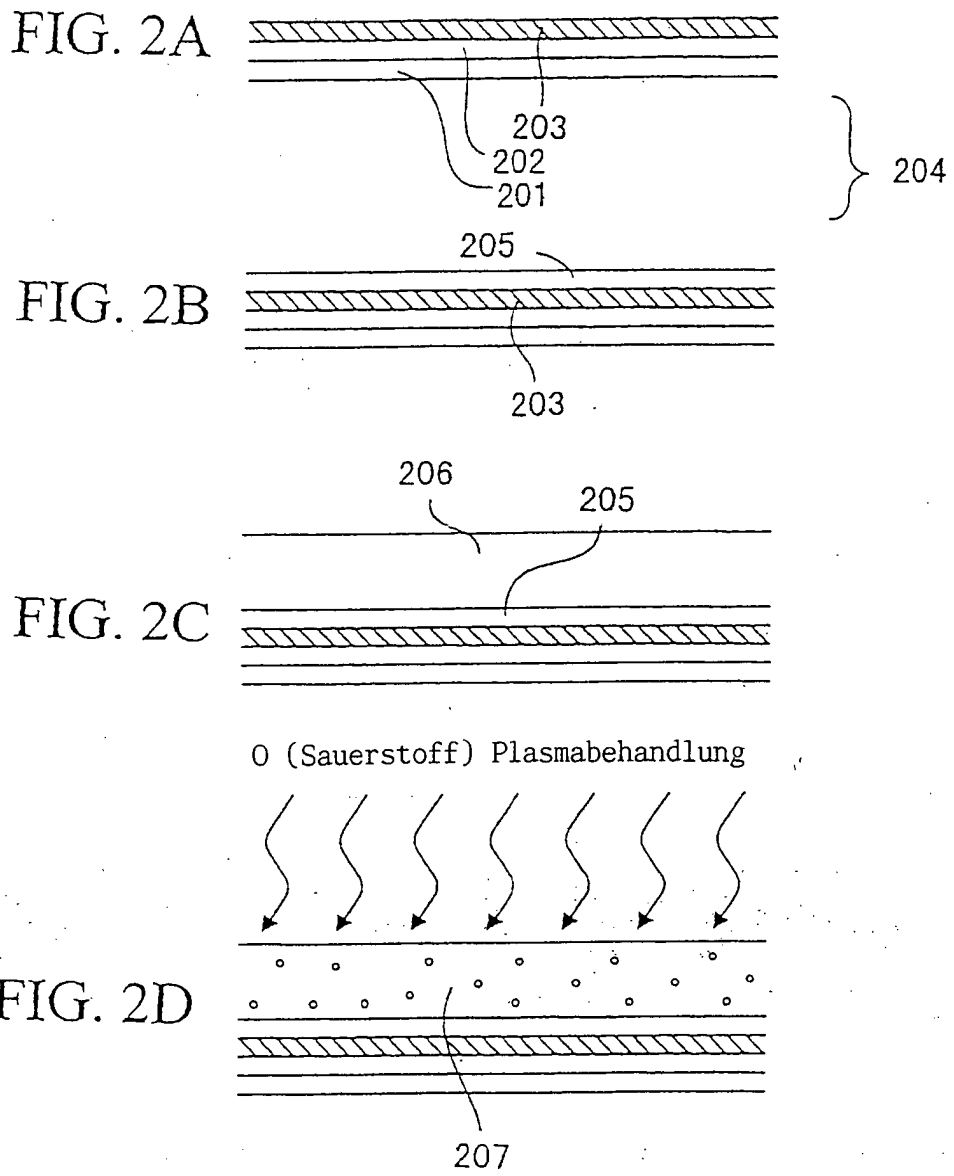
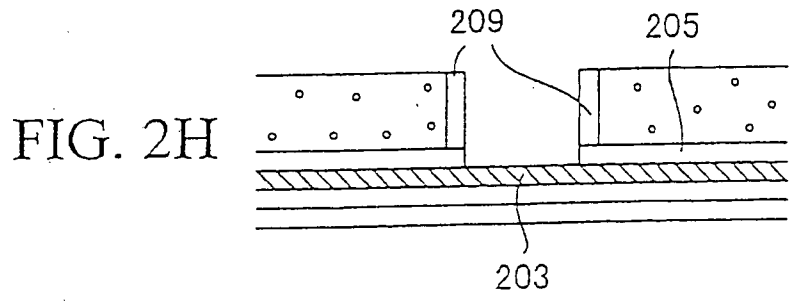
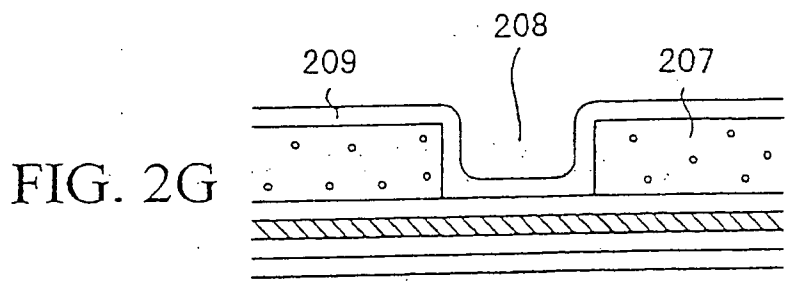
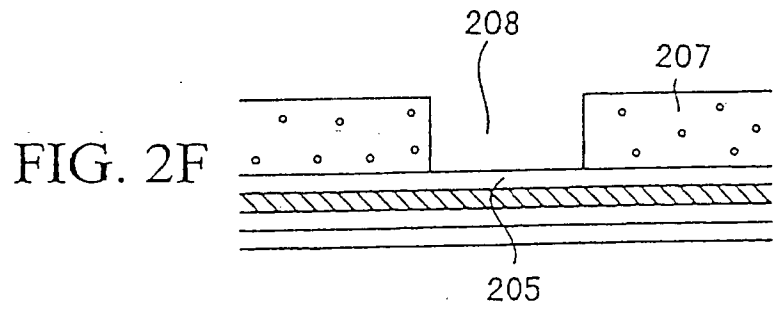
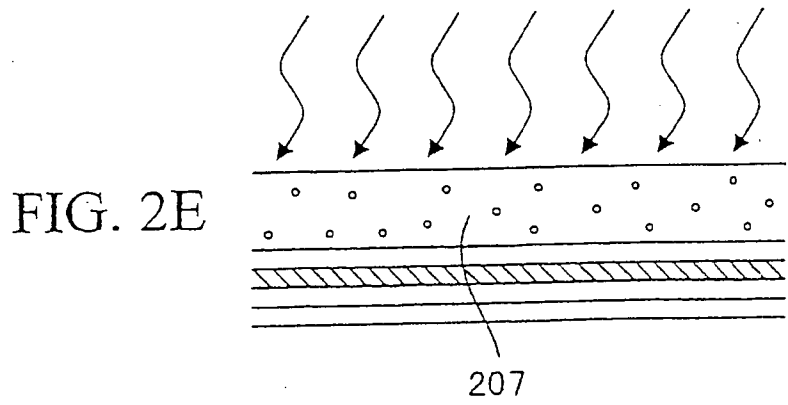


FIG. 1H





H (Wasserstoff) Plasmabehandlung



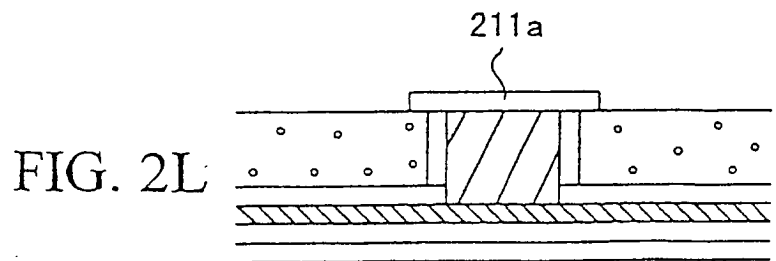
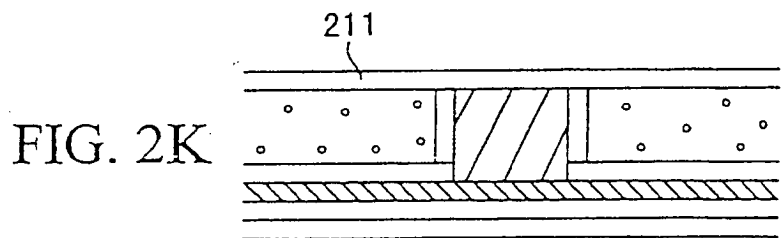
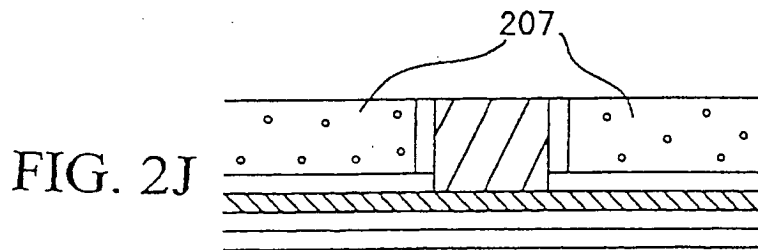
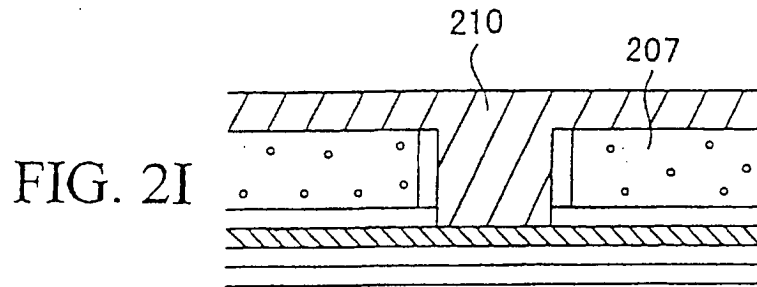


FIG. 2M

