



(10) **DE 11 2007 003 795 B4** 2018.05.24

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **11 2007 003 795.4**
(22) Anmeldetag: **24.01.2007**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.05.2018**

(51) Int Cl.: **H01L 21/31 (2006.01)**
H01L 21/768 (2006.01)
H01L 23/532 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
11/338,059 **24.01.2006** **US**

(62) Teilung aus:
11 2007 003 793.8

(73) Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE

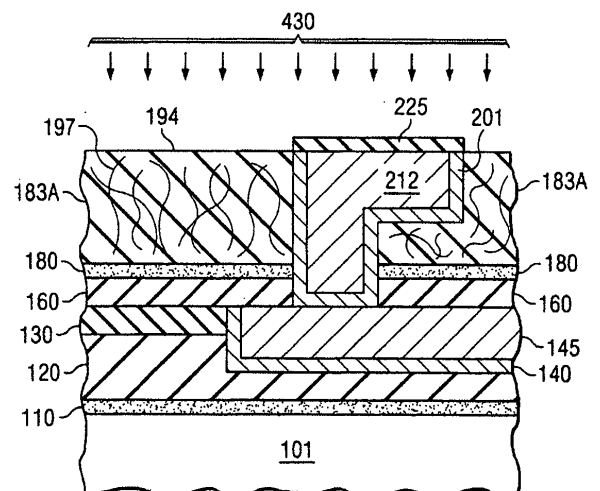
(74) Vertreter:
**Viering, Jentschura & Partner mbB Patent- und
Rechtsanwälte, 01099 Dresden, DE**

(72) Erfinder:
Weber, Frank, Austin, Tex., US

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE **10 2005 040 325** **A1**

(54) Bezeichnung: **Poröses Silizium-Dielektrikum und Herstellungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Ausführungsformen der Erfindung stellen eine Halbleitereinrichtung, welches ein Dielektrikum aufweist, und sein Herstellungsverfahren bereit. Ein Herstellungsverfahren weist auf ein Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat, ein Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht, ein Füllen der Öffnung mit einem Leiter und ein anodisches Ätzen der Siliziumschicht zum Erzeugen von porösem Silizium. Die Ausführungsformen können ferner das Passivieren des porösen Siliziums wie durch die Behandlung seiner Oberfläche mit einer organometallischen Verbindung aufweisen. Weitere Ausführungsformen der Erfindung stellen eine Halbleitereinrichtung bereit, welche eine Schicht mit funktionalen Elementen sowie eine Verbindungsstruktur über der Schicht aufweist, wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Silizium-Dielektrikum aufweist. In einer Ausführungsform der Erfindung weist die Verbindungsstruktur eine duale Damaszener-Verbindungsstruktur auf. Weitere Ausführungsformen können einen Passivierungsschritt nach dem Schritt der Oxidation des porösen Siliziums aufweisen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft poröses Silizium-Dielektrikum und Herstellungsverfahren.

[0002] Diese Erfindung betrifft im Allgemeinen die Herstellung von Halbleitereinrichtungen und insbesondere das Bilden und Verarbeiten von Low-k-Dielektrikumschichten.

[0003] Durch die Erhöhung der Dichte von Halbleitereinrichtungen und die Verringerung der Größe von Schaltkreiselementen wird die Schaltkreisleistung zunehmend von der Widerstand-Kapazität-(RC - resistance capacitance)-Verzögerungszeit dominiert. Zur Verringerung der RC-Verzögerung steigen die Anforderungen an die Verbindungsschichten zum Verbinden der Halbleitereinrichtungen miteinander. Daher wird ein Wechsel von traditionellen Dielektrika auf Siliziumdioxidbasis zu Low-k-Dielektrika gewünscht. Diese Materialien sind insbesondere geeignet als Zwischenmetall-Dielektrika (IMDs-intermetal dielectrics) und als Zwischenschicht-Dielektrika (ILDs - interlayer dielectrics).

[0004] Ein Beispiel eines Low-k-Materials ist fluordotiertes Siliziumdioxid oder Fluorsilikatglas (FSG). Ein weiteres weit verbreitet verwendetes Material ist ein kohlenstoffdotiertes Oxid oder Organosilikatglas (OSG). OSG-Schichten weisen normalerweise $\text{Si}_w\text{C}_x\text{O}_y\text{H}_z$ auf, wobei das tetravalente Silizium eine Vielzahl organischer Gruppensubstitutionen aufweisen kann. Eine häufig verwendete Substitution erzeugt Methylsilsesquioxan (MSQ), wobei eine Methylgruppe eine SiCH_3 -Bindung anstelle einer SiO -Bindung erzeugt. In der Technik sind mehrere Ansätze zur Verringerung des k-Wertes von Dielektrikumschichten bekannt. Dazu gehören die Verringerung der Schichtdichte, die Verringerung der Schichtionisierung und die Verringerung der Schichtpolarisierung.

[0005] Da Luft eine Dielektrizitätskonstante von etwa „1“ hat, wird gemäß einem Verfahren zur Herstellung von Low-k-Dielektrika Luft in dichte Materialien eingeschlossen, um diese porös zu machen. Die Dielektrizitätskonstante des so entstehenden porösen Materials ist die Kombination der Dielektrizitätskonstante von Luft und der Dielektrizitätskonstante des dichten Materials. Somit ist es möglich, die Dielektrizitätskonstante derzeitiger Low-k-Materialien zu senken, indem sie porös gemacht werden. Siliziumdioxid-basierte Xerogele und Aerogele zum Beispiel enthalten eine große Menge an Luft in Poren oder Hohlräumen, wodurch bei Porengrößen von gerade mal 5 bis 10 nm Dielektrizitätskonstanten von weniger als 1,95 erreicht werden.

[0006] Ein Hauptnachteil poröser Dielektrika ist jedoch, dass sie anfällig für Beschädigung durch Plas-

maätzprozesse und Veraschungsprozesse sind, die bei der Herstellung von Halbleitereinrichtungen zum Einsatz kommen. Poröse Dielektrika sind auch weicher als herkömmliche Dielektrika, so dass sie während aggressiver Handhabungsoperationen wie chemisch-mechanischem Polieren leichter beschädigt werden. Beschädigte Dielektrika weisen häufig Oberflächenbrüche auf, durch welche Bearbeitungschemikalien oder Feuchtigkeit in das interne poröse Netzwerk eindringen können, wodurch Korrosion, mechanische Beschädigung oder eine Erhöhung der Dielektrizitätskonstante verursacht werden. Eine solche Beschädigung kann ohne ein direktes Erkennungsverfahren die Zuverlässigkeit verringern. Die Porenbeschädigung kann auch verursachen, dass eine Oberfläche, die vorzugsweise hydrophob ist, hydrophil wird, wodurch sich die Benetzbarkeit verschiedener Lösemittel verändern kann.

[0007] Angesichts derartiger Probleme besteht weiterhin Bedarf an Low-k-Dielektrika, die nicht nur eine poröse Struktur, sondern die auch die chemische und mechanische Stabilität aufweisen, um die rauen Herstellungsschritte zu überstehen.

[0008] Aus dem nachveröffentlichten Dokument DE 10 2005 040 325 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen von dielektrischen Materialien wie poröses Siliziumoxid bekannt.

[0009] Durch die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, die ein Dielektrikum, eine Halbleitereinrichtung und ein Herstellungsverfahren bereitstellen, werden diese und weitere Probleme im Allgemeinen gelöst oder umgangen und es werden im Allgemeinen technische Vorteile erzielt.

[0010] Die Ausführungsformen der Erfindung stellen eine Halbleitereinrichtung, die dielektrisches Material aufweist, und das Herstellungsverfahren hierfür bereit. Ein Verfahren weist auf ein Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat, ein Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht, ein Füllen der Öffnung mit einem Leiter, und ein anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird. Weitere nicht-erfindungsgemäße Ausführungsformen können Oxidieren des porösen Siliziums aufweisen, dem eine Passivierung folgen kann.

[0011] Weitere Ausführungsformen der Erfindung stellen eine Halbleitereinrichtung und ein Herstellungsverfahren hierfür bereit. Ein Verfahren weist auf ein Bilden einer Schicht, welche funktionale Einrichtungen (auch bezeichnet als Elemente) aufweist, und ein Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht, wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Silizium-Dielektrikum aufweist. In einer Ausführungsform der Erfindung weist die Verbindungsstruktur eine duale Damaszener-Verbindungsstruktur auf.

[0012] Im Vorhergehenden wurden die Merkmale und technischen Vorteile der vorliegenden Erfindung recht allgemein umrissen, damit die nun folgende detaillierte Beschreibung der Erfindung besser verstanden wird. Im Folgenden werden zusätzliche Merkmale und Vorteile der Erfindung beschrieben, die den Gegenstand der Ansprüche der Erfindung bilden.

[0013] Zum vollständigeren Verständnis der vorliegenden Erfindung und deren Vorteile sei nun auf die folgenden Beschreibungen in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen verwiesen, wobei:

Fig. 1 und **Fig. 2** Querschnittsansichten sind, welche die Herstellung einer exemplarischen Damaszener-Struktur gemäß der Ausführungsformen der Erfindung veranschaulichen;

Fig. 3 eine Prinzipdarstellung einer Vorrichtung zum anodischen Oxidieren von Silizium ist; und

Fig. 4 eine Querschnittsansicht eines porösen Silizium-Dielektrikums gemäß bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung ist.

[0014] Gleiche Zahlen und Symbole in den unterschiedlichen Figuren betreffen im Allgemeinen gleiche Teile, es sei denn, es ist etwas anderes angegeben. Die Figuren sind so gezeichnet, dass sie die relevanten Aspekte der bevorzugten Ausführungsformen klar veranschaulichen, und sie sind nicht notwendigerweise im Maßstab gezeichnet. Zur klareren Veranschaulichung bestimmter Ausführungsformen kann ein Buchstabe, der Variationen der gleichen Struktur, des Materials oder eines Prozessschrittes anzeigt, auf eine Figurennummer folgen.

[0015] Im Folgenden sind exemplarische Materialien, Strukturen und Verfahren für die Herstellung einer Halbleitereinrichtung bereitgestellt, welche eine Damaszener-Verbindungsstruktur aufweist. Zum Beispiel können einige Schritte in einer unterschiedlichen Reihenfolge als veranschaulicht stattfinden, verbleiben jedoch innerhalb des Umfangs der Erfindung. Auch sind nicht alle veranschaulichten Schritte notwendigerweise erforderlich, um die Erfindung zu implementieren. Ferner können die Materialien, Strukturen und Verfahren gemäß der Ausführungsformen der Erfindung in anderen Bereichen als der Halbleiterherstellung implementiert werden.

[0016] Die vorliegende Erfindung wird nun in Bezug auf bevorzugte Ausführungsformen in einem spezifischen Kontext beschrieben, nämlich spezifische Schritte bei der Herstellung einer integrierten Schaltung, welche eine mehrschichtige Kupfermetallisierung aufweist, die mittels eines herkömmlichen Damaszener-Prozesses erzeugt wurde. Man glaubt, dass die Ausführungsformen dieser Erfindung vorteilhaft sind, wenn sie in einem Damaszener-Metallisierungsprozess verwendet werden.

[0017] Bezugnehmend auf **Fig. 1**, weist eine bevorzugte Ausführungsform der Verbindungsstruktur der Erfindung ein Substrat **101** auf, welches funktionale Elemente oder funktionale Einrichtungen wie beispielsweise Transistoren enthalten kann. Eine dielektrische Schicht **120**, allgemein bekannt als ein Zwischenschichtdielektrikum (ILD - inter-level dielectric), bedeckt das Substrat **101**. Eine Haftvermittlerschicht **110** kann zwischen dem Substrat **101** und der ILD-Schicht **120** angeordnet sein. Eine Hartmaskenschicht **130** ist vorzugsweise auf der ILD-Schicht **120** angeordnet. Mindestens ein Leiter **145** ist in der ILD-Schicht **120** und der Hartmaskenschicht **130** eingebettet. Ein Diffusionsbarriere-Liner **140** kann zwischen der ILD-Schicht **120** und dem Leiter **145** angeordnet sein. Die obere Fläche des Leiters **145** ist koplanar mit der oberen Fläche der Hartmaskenschicht **130** gemacht, üblicherweise durch einen chemisch-mechanischen Polier- (CMP) Schritt. Eine Deckschicht **160** ist auf dem Leiter **145** und der Hartmaskenschicht **130** angeordnet. Eine Haftvermittlerschicht **180** ist über der Deckschicht **160** ausgebildet. Ferner ist eine Siliziumschicht **183** über der Haftvermittlerschicht **180** ausgebildet.

[0018] Die ILD-Schicht **120** kann aus jedem geeigneten dielektrischen Material gebildet sein, obwohl Low-k-Dielektrika bevorzugt werden. Wie hierin verwendet, bezieht sich Low-k auf Dielektrika mit einer geringeren Dielektrizitätskonstante als Siliziumoxid, die bei etwa 3,9 liegt. Zu geeigneten dielektrischen Materialien zählen kohlenstoffdotierte Siliziumdioxidmaterialien; fluoriertes Silikatglas (FSG); organische polymere hitzegehärtete Materialien; Siliziumoxycarbid; SiCOH-Dielektrika; fluordotiertes Siliziumoxid; Aufschleudergläser; Silsesquioxane, einschließlich Wasserstoffsilsesquioxan (HSQ), Methylsilsesquioxan (MSQ) und Mischungen oder Copolymere von HSQ und MSQ; Polymer-Dielektrika auf Benzocyclobuten-(BCB)Basis und jedes Siliziumhaltige Low-k-Dielektrikum. Zu Beispielen von Aufschleuder-Low-k-Schichten mit Zusammensetzungen des SiCOH-Typs unter Verwendung der Silsesquioxan-Chemie zählen HOSP™ (erhältlich von Honeywell), JSR **5109** und **5108** (erhältlich von Japan Synthetic Rubber), Zirkon™ (erhältlich von Shipley Microelectronics, ein Unternehmensbereich von Rohm and Haas) und poröse Low-k-(ELk) Materialien (erhältlich von Applied Materials). Zu Beispielen kohlenstoffdotierter Siliziumdioxidmaterialien oder Organosilanen zählen Black Diamond™ (erhältlich von Applied Materials) und Coral™ (erhältlich von Novellus). Ein Beispiel eines HSQ-Materials ist FOX™ (erhältlich von Dow Corning). Bevorzugte Dielektrika für diese Ausführungsform sind organische polymere hitzegehärtete Materialien, die im Wesentlichen aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff bestehen. Zu bevorzugten Dielektrika zählen das als SiLK™ bekannte Low-k-Polyarylenether-Polymermaterial (erhältlich von The Dow Chemical Company) und das

als FLARE™ bekannte Low-k-Polymermaterial (erhältlich von Honeywell). Die ILD-Schicht **120** kann etwa 100 nm bis etwa 1000 nm dick sein, jedoch sind diese Schichten jeweils vorzugsweise etwa 600 nm dick. Die Dielektrizitätskonstante für die ILD-Schicht **120** beträgt vorzugsweise etwa 1,8 bis etwa 3,5 und am bevorzugtesten etwa 2,0 bis etwa 2,9.

[0019] Alternativ dazu kann die ILD-Schicht **120** aus einem porösen dielektrischen Material gebildet sein, wie MesoELK™ (erhältlich von Air Products) und XLK™ (eine poröse Version von FOx, erhältlich von Dow Corning). Wenn die ILD-Schicht **120** zum Beispiel aus einem solchen porösen dielektrischen Material gebildet ist, ist die Dielektrizitätskonstante dieser Schichten vorzugsweise geringer als etwa 2,6 und am bevorzugtesten etwa 1,5 bis 2,5. Es wird insbesondere bevorzugt, ein organisches polymeres hitzegehärtetes Material zu verwenden, welches eine Dielektrizitätskonstante von etwa 1,8 bis 2,2 aufweist. Die ILD-Schicht **120** kann auch gemäß dem Prozess erzeugt werden, der unten in Bezug auf die Deckschicht **160** beschrieben wird.

[0020] Die Haftvermittlerschichten **110** und **180** sind vorzugsweise etwa 9 nm dick und können aus jedem Material bestehen, das zur Beschleunigung der Anhaftung des dielektrischen Materials in den ILD-Schichten **120** und **119** mit den darunter liegenden Flächen geeignet ist. Wenn zum Beispiel SiLK™ als ILD-Schicht **120** verwendet wird, können die Haftvermittlerschichten **110** und **180** aus einem Haftvermittler, der als AP4000 bekannt ist (ebenfalls erhältlich von The Dow Chemical Company), gebildet sein.

[0021] Die Hartmaskenschicht **130** kann aus jedem geeigneten dielektrischen Material gebildet sein. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Hartmaskenschicht **130** aus Siliziumnitrid gebildet und weist vorzugsweise eine Zusammensetzung von etwa 30 bis 45 Atomprozent Silizium, etwa 30 bis 55 Atomprozent Stickstoff und etwa 10 bis 25 Atomprozent Wasserstoff auf. Am bevorzugtesten weisen diese Siliziumnitrid-Hartmaskenschichten eine Zusammensetzung von etwa 41 Atomprozent Silizium, etwa 41 Atomprozent Stickstoff und etwa 17,5 Atomprozent Wasserstoff auf. Alternativ dazu ist in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform die Hartmaskenschicht **130** aus Siliziumcarbid gebildet und weist vorzugsweise eine Zusammensetzung von etwa 20 bis 40 Atomprozent Silizium, etwa 20 bis 50 Atomprozent Kohlenstoff und etwa 20 bis 45 Atomprozent Wasserstoff auf. Eine besonders bevorzugte Zusammensetzung weist etwa 27 Atomprozent Silizium, etwa 36 Atomprozent Kohlenstoff und etwa 37 Atomprozent Wasserstoff auf.

[0022] Der Leiter **145** kann aus jedem geeigneten leitfähigen Material gebildet sein, wie beispielsweise Kupfer oder Aluminium. Kupfer wird wegen seines re-

lativ geringen elektrischen Widerstands insbesondere als das leitfähige Material bevorzugt. Der Kupferleiter **145** kann geringe Konzentrationen anderer chemischer Elemente enthalten. Der Diffusionsbarriereliner **140** kann eines oder mehrere der folgenden Materialien aufweisen: Ruthenium, Tantal, Titan, Wolfram und die Nitride dieser Metalle.

[0023] Die Deckschicht **160** kann aus Siliziumnitrid, Siliziumcarbid, Bornitrid oder einem anderen geeigneten dielektrischen Material gebildet sein und wird vorzugsweise unter Verwendung eines HDP-CVD-Prozesses erzeugt. Es wurde festgestellt, dass Materialien, die mittels eines HDP-CVD-Prozesses aufgebracht wurden, eine bessere Haftung und einen besseren Elektromigrationswiderstand bereitstellen. Jedoch können auch Materialien, die ähnliche Eigenschaften aufweisen, allerdings mittels anderer Prozesse aufgebracht wurden, für die Deckschicht **160** verwendet werden. Die Deckschicht **160** wird am bevorzugtesten aus HDP-CVD-Siliziumnitrid mit einer Zusammensetzung von etwa 30 bis 50 Atomprozent Silizium, etwa 40 bis 65 Atomprozent Stickstoff und etwa 5 bis 13 Atomprozent Wasserstoff gebildet. Eine besonders bevorzugte Zusammensetzung für die Deckschichten **160** und **123** besteht aus etwa 40 Atomprozent Silizium, etwa 52 Atomprozent Stickstoff und etwa 8 Atomprozent Wasserstoff. Die Deckschicht **160** weist vorzugsweise eine Dicke in einem Bereich von etwa 2,5 bis 70 Nanometer auf und am bevorzugtesten im Bereich von etwa 5 bis 35 Nanometer. Der Diffusionsbarriereliner **140** und die Deckschicht **160** können auch andere Materialien aufweisen, die zur Verhinderung der Metalldiffusion bekannt sind.

[0024] Die Siliziumschicht **183** wird vorzugsweise bei einer Temperatur aufgebracht, die niedrig genug ist, um eine Verschlechterung der darunter liegenden Schichten oder Einrichtungen, die in dem Substrat **101** eingebettet sind, zu verhindern. Daher kann die Beschichtungstemperatur unter etwa 400 °C und vorzugsweise unter etwa 250 °C und bevorzugter unter etwa 23 °C liegen. Die Siliziumschicht **183** kann eine polykristalline Schicht aufweisen, obwohl eine Einkristallschicht bevorzugter ist.

[0025] Weiter Bezug nehmend auf **Fig. 1**, weisen bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung das Bilden einer Siliziumschicht **183** über dem Substrat **101** und bevorzugter über dem Leiter **145** auf. Die Siliziumschicht **183** kann mittels herkömmlicher Silizium-Epitaxieverfahren, einschließlich PVD, CVD, PECVD, MBE und ALD aufgebracht werden. Wie unten in Verbindung mit bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beschrieben, wird die Siliziumschicht **183** in eine poröse dielektrische Schicht umgewandelt, nachdem eine Damaszener-Verbindungsstruktur durch die Siliziumschicht **183** hindurch erzeugt wurde.

[0026] Nun Bezug nehmend auf **Fig. 2**, ist die Zwischenstruktur von **Fig. 1** nach weiterer Verarbeitung gemäß der Ausführungsformen der Erfindung veranschaulicht. Unter Verwendung herkömmlicher Lithographie- und Musterungstechniken wird eine Damaszener-Verbindungsöffnung **190**, die ein Durchgangsloch **191** und einen Graben **192** aufweist, durch die Siliziumschicht **183**, die Deckschicht **160** und den Haftvermittler **180** zum Leiter **145** erzeugt. Die Damaszener-Verbindungsöffnung **190** ist mit einem Diffusionsbarriere-Liner **201** versehen, der mittels der gleichen Materialien und Verfahren, die oben in Bezug auf den Diffusionsbarriere-Liner **140** beschrieben wurden, erzeugt werden kann. Als nächstes wird die Damaszener-Verbindungsöffnung **190** mit einem Leiter **212** gefüllt, der mittels der gleichen Materialien und Verfahren, die oben in Bezug auf den Leiter **145** beschrieben wurden, erzeugt werden kann. Als nächstes wird die Zwischenstruktur geebnet, z.B. mittels CMP.

[0027] Als nächstes wird selektiv eine zweite dielektrische Deckschicht **225** auf dem Leiter **212** erzeugt, wodurch die Zwischenstruktur **193** entsteht, die in **Fig. 2** veranschaulicht ist. Die zweite dielektrische Deckschicht **225** weist vorzugsweise poröses Silizium oder Derivate davon auf. Wie in **Fig. 2** gezeigt, ist der Leiter **212** vorzugsweise von dem Diffusionsbarriere-Liner **201** und der zweiten dielektrischen Deckschicht **225** eingeschlossen, um ihn in späteren Prozessschritten und im Endprodukt zu schützen. Wie in **Fig. 2** gezeigt, liegt die Fläche **194** der Siliziumschicht **183** in der Zwischenstruktur **193** frei. Als nächstes wird die Siliziumschicht **183** anodisch oxidiert.

[0028] Eine geeignete elektrochemische Vorrichtung **301** zum anodischen Oxidieren der Zwischenstruktur **193** ist in **Fig. 3** veranschaulicht. Die Vorrichtung **301** weist einen Elektrolyt **305** auf, der in Kontakt mit der Fläche **194** der Siliziumschicht **183** steht. Eine Anode **310** steht in elektrischem Kontakt mit der Siliziumschicht **183**. Eine Kathode **315** kann ein Platingitter **320** aufweisen, das in den Elektrolyt **305** eingetaucht ist. Die Vorrichtung **301** kann auch ein mechanisches Rührelement **325** und eine Referenzelektrode **330** aufweisen, die auch in den Elektrolyt **305** eingetaucht sind.

[0029] Der Elektrolyt **305** weist vorzugsweise einen Säureelektrolyt auf, der Fluorwasserstoffsäure und mindestens eine weitere Säure aufweisen kann. In einer Ausführungsform weist der Elektrolyt eine wässrige Lösung aus Fluorwasserstoffsäure und Essigsäure auf. Die Konzentration der Fluorwasserstoffsäure beträgt 40 Gew.%, während die der Essigsäure 5 Gew.% beträgt. Der pH-Wert eines solchen Elektrolyts liegt dann unter 2. Die anodische Oxidation wird durch das Anlegen einer Spannung zwischen der Anode **310** und der Kathode **315**, um einen konstanten anodischen Stromfluss zu erzeugen, der einer anodi-

schen Stromdichte gleich etwa 3 mA/cm² entspricht, bewirkt. Die Umwandlungsrate des Siliziums in poröses Silizium liegt dann in einer Größenordnung von 0, 2 Mikrometer/Minute und die abschließend erhaltene Porosität liegt in einer Größenordnung von 60 %. Obwohl Essigsäure als ein sehr guter oberflächenaktiver Stoff dient, kann zur Vereinfachung der Entfernung der Wasserstoffbläschen mittels des Rührelementes **325** optional weiteres, leichtes mechanisches Rühren durchgeführt werden.

[0030] Die anodische Oxidation wird vorzugsweise fortgesetzt, bis sich komplett durch die Dicke der Siliziumschicht **183** hindurch Poren bilden. An diesem Punkt erhöht sich der Widerstand und, da die Operation mit einem konstanten Strom durchgeführt wurde, führt dies zu einer Erhöhung der Spannung zwischen der Anode **310** und der Referenzelektrode **330**. Die anodische Oxidation wird dann gestoppt, indem der Strom abgeschaltet wird. Somit kann das anodische Ätzen einer Siliziumschicht das Messen einer Potentialdifferenz zwischen einem Elektrodenpaar, das in dem Elektrolyt angeordnet ist, und das Stoppen der anodischen Oxidation, wenn ein Anstieg in der Potentialdifferenz verzeichnet wird, aufweisen.

[0031] Nun Bezug nehmend auf **Fig. 4**, ist das Ergebnis der anodischen Oxidation das Bilden einer porösen Siliziumschicht **183A** mit mehreren Verbindungsporen **197**. Vorzugsweise weist die poröse Siliziumschicht **183A** eine poröse Struktur und Eigenschaften, die im Wesentlichen ähnlich dem Dielektrikum **120** wie oben beschrieben sind, auf. Am bevorzugtesten ist die Dielektrizitätskonstante der porösen Siliziumschicht **183A** normalerweise die eines Low-k-Dielektrikums, d.h. geringer als etwa 3,9.

[0032] Im Allgemeinen durchläuft das frisch erzeugte poröse Silizium eine weitere Oxidation und/oder Hydrierung, wenn es Luft ausgesetzt wird. Da dies die Dielektrizitätskonstante erhöhen kann, weisen die Ausführungsformen der Erfindung ferner einen Passivierungsprozess **430** auf, der die Oberfläche **194** des porösen Dielektrikums **183A** stabilisiert.

[0033] In einem weiteren optionalen Schritt kann das poröse Silizium durch einen RTP-(rapid temperature processing) H₂O- und/oder O₂-Prozess zu einem porösen Siliziumdioxid oxidiert werden. Der viel langsamere Hochofenprozess führt jedoch zu einem höheren thermischen Budget und könnte Migrationseffekte des Leiters oder anderer Ionen verursachen. Die Ausführungsformen der Erfindung weist daher ein poröses Silizium-Dielektrikum oder ein Dielektrikum aus einer Kombination von porösem Silizium und porösem Siliziumdioxid auf. Die nicht-erfindungsgemäße Ausführungsform der Erfindung kann ein poröses Siliziumdioxid-Dielektrikum aufweisen.

[0034] In bevorzugten Ausführungsformen kann die Passivierung einen zweistufigen chemischen Prozess aufweisen, der Silanol-Oberflächengruppen in eine kohlenstoffhaltige, organische Gruppe umwandelt. Der erste Schritt weist die Verwendung eines Halogenierreagens oder -agens zur Umwandlung der Silanolgruppe in ein Siliziumhalogenid auf. Im Falle einer nicht oxidierten Siliziumoberfläche kann das Halogenid direkt ohne die Silanolgruppe als Zwischenstufe erzeugt werden. Der zweite Schritt weist die Verwendung eines Derivatisierungsreagens zum Ersetzen des Halogenids mit einer geeigneten organischen Gruppe auf. In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Halogenieragens Thionylchlorid auf und das Derivatisierungsagens weist eine organometallische Verbindung, vorzugsweise Methylithium, auf. In einer weiteren Ausführungsform ist das Halogenieragens aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus SO_2Cl_2 (Sulfurylchlorid) oder COCl_2 (Carboxydichlorid) besteht, ausgewählt. In einer weiteren nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsform weist die organometallische Verbindung ein Grignard-Reagens auf. In noch einer nicht-erfindungsgemäßen weiteren Ausführungsform weist die organometallische Verbindung eine organische Lithiumverbindung, RLi , auf, wobei R aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus Alkyl- oder Aryl-Verbindungen besteht, ausgewählt ist. In einer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsform ist die organometallische Verbindung Trimethylaluminium, oder allgemeiner $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C\text{Al}$, wobei R_{A-C} unabhängig eine Alkyl- oder Arylgruppe aufweisen können. Weitere Ausführungsformen weisen nicht-organometallische Derivatisierungsverbindungen auf, die durch $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C\text{C}(\text{R}_D\text{X})$ dargestellt sind, wobei R_{A-C} unabhängig eine Alkylgruppe oder Wasserstoff aufweisen können, R_D unabhängig eine Alkylgruppe aufweisen kann, und X Br, I, R, O-R (R=Alkyl), Fluorsulfonat ($-\text{O}-\text{SO}_2-\text{F}$) oder Triflat ($-\text{O}-\text{SO}_2-\text{CF}_3$) aufweist. Weitere nicht-erfindungsgemäße Ausführungsformen können nicht-organometallische Derivatisierungsverbindungen aufweisen, die im Allgemeinen durch $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C\text{Si}(\text{R}_D\text{X})$ dargestellt sind, wobei R_{A-C} unabhängig eine Alkylgruppe oder Wasserstoff aufweisen können, R_D unabhängig eine Alkylgruppe aufweisen kann, und X Br, I, R, O-R (R=Alkyl), Fluorsulfonat ($-\text{O}-\text{SO}_2-\text{F}$) oder Triflat ($-\text{O}-\text{SO}_2-\text{CF}_3$) aufweist. Weitere nicht-erfindungsgemäße Ausführungsformen können nicht-organometallische Derivatisierungsverbindungen aufweisen, die im Allgemeinen durch $\text{R}_A\text{R}_B\text{C}=\text{CHR}_C$ dargestellt sind, wobei R_{A-C} unabhängig eine Alkylgruppe oder Wasserstoff aufweisen können.

[0035] In weiteren Ausführungsformen kann die Passivierung in einem einstufigen Ansatz durch die Behandlung der Schicht mit $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C\text{C}(\text{R}_D\text{X})$ erfolgen, wobei R_{A-C} unabhängig eine Alkylgruppe oder Wasserstoff aufweisen können, R_D unabhängig eine Alkylgruppe aufweisen kann, und X Cl, Br, I, R, O-R (R=Alkyl), Fluorsulfonat ($-\text{O}-\text{SO}_2-\text{F}$) oder Triflat ($-\text{O}-\text{SO}_2-$

CF_3) aufweist. In weiteren nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann die Passivierung in einem einstufigen Ansatz durch die Behandlung der Schicht mit $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C\text{Si}(\text{R}_D\text{X})$ erfolgen, wobei R_{A-C} unabhängig eine Alkylgruppe oder Wasserstoff aufweisen können, R_D unabhängig eine Alkylgruppe aufweisen kann, und X Cl, Br, I, R, O-R (R=Alkyl), Fluorsulfonat ($-\text{O}-\text{SO}_2-\text{F}$) oder Triflat ($-\text{O}-\text{SO}_2-\text{CF}_3$) aufweist. Weitere nicht-erfindungsgemäße Ausführungsformen können die Passivierung unter Verwendung von Silazanen wie $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C\text{Si}-\text{NH}-\text{SiR}_A\text{R}_B\text{R}_C$ aufweisen, wobei R_{A-C} and $\text{R}_{A'-C'}$ unabhängig eine Alkylgruppe oder Wasserstoff, oder bevorzugter HMDS (Hexamethyldisilazan) aufweisen können. Zu weiteren nicht-erfindungsgemäßen Passivierungsverfahren kann auch die Parylen-Auftragung gehören.

[0036] In weiteren nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann das Passivieren auch die Behandlung des porösen Siliziums mit einem Hydroxytrialkylsilan aufweisen. Vorzugsweise entspricht das Hydroxytrialkylsilan der allgemeinen Formel $\text{HO}-\text{Si}-\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3$, wobei R_{1-3} aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, Butyl, Isobutyl und Kombinationen davon besteht, ausgewählt sind.

[0037] In weiteren nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen kann die Passivierung **430** das Versiegeln der Poren **197**, welche die Fläche **194** des porösen Siliziums **183A** kreuzen, aufweisen. Die nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen können das Reagieren des porösen Siliziums **183A** mit einem mehrzähligen, die Poren versiegelnden Liganden aufweisen. Der mehrzählige Ligand ist vorzugsweise ein zweizähliger Ligand.

[0038] Zweizählige und mehrzählige, die Poren versiegelnde Liganden sind von Vorteil, da die Liganden mehrere Befestigungspunkte zur Low-k-Dielektrikumschicht aufweisen. Viele herkömmliche Dielektrikum-Behandlungen weisen Moleküle mit nur einem einzigen Befestigungspunkt auf. Bei diesen Molekülen besteht eine größere Chance ihrer Entfernung im Verlauf von Hochtemperatur-Verarbeitungsschritten oder anderen Schritten, wie Sputtern und Reinigung. Daher weisen die nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen die Verwendung von mehrzähligen, die Poren versiegelnden Molekülen mit mehreren Befestigungspunkten auf.

[0039] Der die Poren versiegelnde Ligand kann ein Reagens sein, das in einem separaten System hergestellt und der Plasmareaktionskammer zugegeben wird. Oder der Porenversiegelungsprozess kann in einer separaten Reaktionskammer stattfinden. In weiteren Ausführungsformen kann der die Poren versiegelnde Ligand in situ erzeugt werden, wo er gebildet wird und kurz danach mit der beschädigten Dielektrikum-Oberfläche reagiert. Der Reparaturpro-

zess durch den die Poren versiegelnden Liganden kann in einer einzelnen chemischen Reaktion stattfinden oder in einer mehrstufigen Reaktion.

[0040] Kleine Moleküle sind aufgrund ihrer geringeren sterischen Hinderung besser in der Lage, in die Poren einzudringen und die Poren innerhalb der Masse zu versiegeln. Im Gegensatz dazu reagieren große Moleküle am Eingang der Oberflächenporen, wodurch die Oberfläche versiegelt, jedoch die interne Porenreparatur behindert wird. Dementsprechend weist eine bevorzugte Ausführungsform einen zweistufigen Prozess auf, bei dem zuerst die internen Poren mit kleinen Reparaturmolekülen behandelt werden, und im Anschluss daran werden die externen Poren mit großen Molekülen behandelt. Diese letzte Behandlung kann einen Plasmaschritt zum Freimachen von Bindungsstellen und einen Versiegelungsschritt aufweisen.

[0041] In bevorzugten nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen ist der die Poren versiegelnde Ligand durch die allgemeine Formel $X-CH_2-(CH_2)_n-CH_2-X$ dargestellt, wobei X eine Austrittsgruppe ist und $n = 0 - 2$. Zu Austrittsgruppen können H, NH_2 , Cl, Br, I, OCH_3 , $-SO_2F$ oder Triflat ($-O-SO_2-CF_3$) zählen. Bei der Bildung von Si-O-Si oder Si-O-C wird HX normalerweise durch alternative Ausführungsformen gebildet, welche größere Liganden aufweisen, die im Allgemeinen durch die Formel $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_n-Si(CH_3)_2-X$ ($n = 0 - 2$) dargestellt sind, wobei X wieder die Austrittsgruppe ist.

[0042] Alternative nicht-erfindungsgemäße Ausführungsformen können einfach oder mehrfach verzweigte (massige) mehrzählige Liganden aufweisen. Ein Beispiel einfach verzweigter Liganden weist Verbindungen auf, die im Allgemeinen durch $X-CH_2-(CH_2)_m(CR_1R_2)(CH_2)_o-CH_2-X$ ($2+m+o+1=n/2$) dargestellt sind, wobei R_1 und R_2 unabhängig H, Alkyl oder Aryl sind. Der mehrzählige Ligand kann auch einen dreizähligen Liganden aufweisen. Ein bevorzugter dreizähliger Ligand ist durch die folgende allgemeine Formel dargestellt: $X-CH_2-(CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-CH_2-X$; oder $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$; oder $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_m(SiXCH_3)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$, wobei X die Austrittsgruppe ist. Die Kettenlänge $m \approx o \approx n$ kann durch die Porengröße = $(n+2) \times 1.22 \text{ \AA}$ genähert werden.

[0043] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat;
- Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht;

- Füllen der Öffnung mit einem Leiter; und
- anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird.

[0044] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das Verfahren ferner Passivieren des porösen Siliziums auf.

[0045] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Passivieren des porösen Siliziums ein Behandeln des porösen Siliziums mit einem Hydroxytrialkylsilan auf.

[0046] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen entspricht das Hydroxytrialkylsilan der allgemeinen Formel $HO-Si-R_1R_2R_3$ entspricht, wobei R_{1-3} aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, Butyl, Isobutyl, und Kombinationen davon besteht, ausgewählt sind.

[0047] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das Halogenieragens ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Thionylchlorid, Sulfurylchlorid und Carboxydichlorid besteht, ausgewählt ist.

[0048] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die organometallische Verbindung ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Grignard-Reagens, Lithiumdialkylkupfer, Trimethylaluminium und Methyllithium besteht, ausgewählt ist.

[0049] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das anodische Ätzen der Siliziumschicht auf:

- Platzieren der Siliziumschicht in Kontakt mit einem Säureelektrolyt, der Fluorwasserstoffsäure und mindestens eine weitere Säure enthält;
- Anlegen eines Anodenstroms zum Durchführen der anodischen Oxidation der Siliziumschicht;
- Messen einer Potentialdifferenz zwischen einem Elektrodenpaar, das in dem Säureelektrolyt angeordnet ist; und
- Anhalten der anodischen Oxidation, wenn eine Erhöhung in der Potentialdifferenz festgestellt wird.

[0050] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Verfahren auf:

- Umwandeln des porösen Siliziums in poröses Siliziumdioxid; und
- Passivieren des porösen Siliziumdioxids.

[0051] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Passivieren des porösen Siliziumdioxids mindestens die Behandlung des porösen Siliziumdioxids mit einem Hydroxytrialkylsilan oder die Behandlung des porösen Siliziumdioxids mit einem Halogenieragens, gefolgt von einer organometallischen Verbindung, auf.

[0052] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung, wobei das Verfahren auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht, wobei die Verbindungsstruktur ein Dielektrikum aufweist, das aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium oder einer Kombination von porösem Silizium und porösem Siliziumdioxid besteht, ausgewählt ist.

[0053] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche auf.

[0054] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen:

- weist die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung auf, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- sind R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0055] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen:

- weist die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung auf, die der allgemeinen Formel $R_A R_B C=CHR_C$ entspricht,
- sind R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0056] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen:

- weist die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung auf, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C CX$ entspricht,
- sind R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0057] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die passivierte Oberfläche eine massige funktionale Gruppe auf, wobei die massige funktionale Gruppe aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus einem langkettigen Kohlenstoff, einer organischen Multi-Ringgruppe, einem Makromolekül und einem Kohlenstoffkäfigmolekül und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist.

[0058] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist eine Damaszener-Verbindungsstruktur auf:

- ein leitfähiges Merkmal über einem Substrat;
- eine poröse Siliziumschicht über dem leitfähigen Merkmal;
- ein Durchgangsloch, das sich durch die poröse Siliziumschicht hindurch zu dem leitfähigen Merkmal erstreckt; und
- einen Leiter, der das Durchgangsloch füllt.

[0059] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das leitfähige Merkmal eine Schicht aus funktionalen Halbleitereinrichtungen auf.

[0060] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist die poröse Siliziumschicht eine Dielektrizitätskonstante von weniger als etwa 3,9 auf.

[0061] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen:

- weist die poröse Siliziumschicht eine passivierte Siliziumfläche auf, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- sind wobei R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0062] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat;
- Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht;

- Füllen der Öffnung mit einem Leiter;
- anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird; und
- Passivieren des porösen Siliziums,
- wobei das Passivieren des porösen Siliziums ein Behandeln des porösen Siliziums mit einem Hydroxytrialkylsilan aufweist.

[0063] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen entspricht das Hydroxytrialkylsilan der allgemeinen Formel $\text{HO-Si-R}_1\text{R}_2\text{R}_3$, wobei R_{1-3} aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, Butyl, Isobutyl, und Kombinationen davon besteht, ausgewählt sind.

[0064] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das Halogenieragens ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Thionylchlorid, Sulfurylchlorid und Carboxydichlorid besteht, ausgewählt ist.

[0065] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die organometallische Verbindung ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Grignard-Reagens, Lithiumdialkylkupfer, Trimethylaluminium und Methylithium besteht, ausgewählt ist.

[0066] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat;
- Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht;
- Füllen der Öffnung mit einem Leiter;
- anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird, wobei das anodische Ätzen der Siliziumschicht aufweist:
- Platzieren der Siliziumschicht in Kontakt mit einem Säureelektrolyt, der Fluorwasserstoffsäure und mindestens eine weitere Säure enthält;
- Anlegen eines Anodenstroms zum Durchführen der anodischen Oxidation der Siliziumschicht;
- Messen einer Potentialdifferenz zwischen einem Elektrodenpaar, das in dem Säureelektrolyt angeordnet ist; und
- Anhalten der anodischen Oxidation, wenn eine Erhöhung in der Potentialdifferenz festgestellt wird.

[0067] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht, wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium aufweist und eine Sauerstoff-freie Oberfläche aufweist; und
- Passivieren der Oberfläche der Verbindungsstruktur.

[0068] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist eine Damaszener-Verbindungsstruktur auf:

- ein leitfähiges Merkmal über einem Substrat;
- eine poröse Siliziumschicht über dem leitfähigen Merkmal, wobei
- eine Oberfläche der porösen Siliziumschicht Sauerstoff-frei ist und wobei die Oberfläche passiviert ist;
- ein Durchgangsloch, das sich durch die poröse Siliziumschicht hindurch zu dem leitfähigen Merkmal erstreckt; und
- einen Leiter, der das Durchgangsloch füllt.

[0069] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das leitfähige Merkmal eine Schicht aus funktionalen Halbleitereinrichtungen aufweist.

[0070] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist die poröse Siliziumschicht eine Dielektrizitätskonstante von weniger als etwa 3,9 aufweist.

[0071] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium oder einer Kombinationen von porösem Silizium und porösen Siliziumdioxid besteht, ausgewählt ist, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C(\text{R}_D\text{X})$ entspricht,

- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind und R_D eine Alkylgruppe ist; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0072] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium, porösem Siliziumdioxid und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B C = CHR_C$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind.

[0073] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium, porösem Siliziumdioxid und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C CX$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0074] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium, porösem Siliziumdioxid und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:
 - $X-CH_2-(CH_2)_n-CH_2-X$, mit $n = 0$ bis 2 ; oder
 - $Si(CH_3)_2-(CH_2)_n-Si(CH_3)_2-X$, mit $n = 0$ bis 2 ; oder
 - $X-CH_2-(CH_2)_m(CR_1R_2)(CH_2)_o-CH_2-X$, mit $n/2 = 2+m+o+1$ und R_1 und R_2 unabhängig voneinander H, eine Alkyl- oder eine Aryl-Gruppe; entspricht, oder wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:
 - $X-CH_2-(CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-CH_2-X$; oder
 - $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$; oder
 - $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_m(SiXCH_3)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$, entspricht,
- wobei $m \approx o$ gilt und m eine Funktion der Porengröße des porösem Siliziums ist: Porengröße = $(m+2) * 0.122$ nm; und

X in allen Fällen unabhängig ausgewählt ist aus H, NH_2 , Cl, Br, I, OCH_3 , SO_2F oder $O-SO_2-CF_3$.

[0075] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,

- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind und R_D eine Alkylgruppe ist; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0076] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C = \text{CHR}_C$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind.

[0077] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C \text{CX}$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind, und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0078] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und

- wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:

• $\text{X-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-CH}_2\text{-X}$, mit $n = 0$ bis 2 ;
oder

• $\text{Si (CH}_3\text{)}_2\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-Si (CH}_3\text{)}_2\text{-X}$, mit $n = 0$ bis 2 ;
oder

• $\text{X-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_m\text{(CR}_1\text{R}_2\text{) (CH}_2\text{)}_o\text{-CH}_2\text{-X}$, mit $n/2 = 2+m+o+1$ und R_1 und R_2 unabhängig voneinander H, eine Alkyl- oder eine Aryl-Gruppe; entspricht, oder wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:

• $\text{X-CH}_2\text{-(CH}_2\text{)}_m\text{(CXH) (CH}_2\text{)}_o\text{-CH}_2\text{-X}$;
oder

• $\text{X-Si (CH}_3\text{)}_2\text{-CH}_2\text{)}_m\text{(CXH) (CH}_2\text{)}_o\text{-Si (CH}_3\text{)}_2\text{-X}$;
oder

• $\text{X-Si(CH}_3\text{)}_2\text{-(CH}_2\text{)}_m\text{(SiXCH}_3\text{) (CH}_2\text{)}_o\text{-Si(CH}_3\text{)}_2\text{-X}$, entspricht,

- wobei $m \approx o$ gilt und m eine Funktion der Porengröße des porösem Siliziums ist: Porengröße = $(m+2) * 0.122 \text{ nm}$; und

X in allen Fällen unabhängig ausgewählt ist aus H, NH_2 , Cl, Br, I, OCH_3 , SO_2F oder $\text{O-SO}_2\text{-CF}_3$.

[0079] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist eine Damaszener-Verbindungsstruktur auf:

- ein leitfähiges Merkmal über einem Substrat;
- eine poröse Siliziumschicht über dem leitfähigen Merkmal, wobei
- die poröse Siliziumschicht eine passivierte Siliziumoberfläche aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C \text{C(R}_D\text{X)}$ entspricht,
- wobei R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist;
- ein Durchgangsloch, das sich durch die poröse Siliziumschicht hindurch zu dem leitfähigen Merkmal erstreckt; und
- einen Leiter, der das Durchgangsloch füllt.

[0080] In weiteren Ausführungsformen der Erfindung (nicht gezeigt) kann die zweite dielektrische Deckschicht **225** optional an dieser Stelle durch eine andere Deckschicht ersetzt sein, welche das Dielektrikum **183** und den Leiter **212** bedeckt. Oder anstatt die zweite dielektrische Deckschicht **225** zu ersetzen, kann eine weitere Deckschicht die zweite dielektrische Deckschicht **225** und das Dielektrikum **183**

bedecken. Die Ausführungsformen können auch eine Reparatur oder Modifikation der zweiten dielektrischen Deckschicht **225** aufweisen. Zum Beispiel kann eine Modifikation das Bilden einer Öffnung in der Deckschicht aufweisen, um ein Durchgangsloch zu einem im Anschluss erzeugten nächsten Level zu erzeugen. Der Rest der Herstellung der Einrichtung, einschließlich der wiederholten Bildung von Low-k-Isolatorschichten, Durchgangsloch- und Grabenätzung und Metallaufbringung für zusätzliche Metallobenen, kann dann durchgeführt werden. Die Herstellung kann auch ein Bilden weiterer Dielektrika aufweisen, die nicht mit den Damaszener-Anwendungen in Verbindung stehen, wobei die Dielektrika gemäß den Ausführungsformen der Erfindung behandelt werden.

[0081] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat;
- Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht;
- Füllen der Öffnung mit einem Leiter; und
- anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird.

[0082] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das Verfahren ferner Passivieren des porösen Siliziums auf.

[0083] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Passivieren des porösen Siliziums ein Behandeln des porösen Siliziums mit einem Hydroxytrialkylsilan auf.

[0084] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen entspricht das Hydroxytrialkylsilan der allgemeinen Formel $\text{HO-Si-R}_1\text{R}_2\text{R}_3$ entspricht, wobei $\text{R}_{1,3}$ aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, Butyl, Isobutyl, und Kombinationen davon besteht, ausgewählt sind.

[0085] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das Halogenieragens ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Thionylchlorid, Sulfurylchlorid und Carboxydichlorid besteht, ausgewählt ist.

[0086] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die organometallische Verbindung ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Grignard-Reagens, Lithiumdialkylkupfer, Trimethylaluminium und Methylithium besteht, ausgewählt ist.

[0087] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das anodische Ätzen der Siliziumschicht auf:

- Platzieren der Siliziumschicht in Kontakt mit einem Säureelektrolyt, der Fluorwasserstoffsäure und mindestens eine weitere Säure enthält;
- Anlegen eines Anodenstroms zum Durchführen der anodischen Oxidation der Siliziumschicht;
- Messen einer Potentialdifferenz zwischen einem Elektrodenpaar, das in dem Säureelektrolyt angeordnet ist; und
- Anhalten der anodischen Oxidation, wenn eine Erhöhung in der Potentialdifferenz festgestellt wird.

[0088] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist das Verfahren auf:

- Umwandeln des porösen Siliziums in poröses Siliziumdioxid; und
- Passivieren des porösen Siliziumdioxids.

[0089] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung, wobei das Verfahren auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht, wobei die Verbindungsstruktur ein Dielektrikum aufweist, das aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium oder einer Kombinationen von porösem Silizium und porösem Siliziumdioxid besteht, ausgewählt ist.

[0090] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche auf.

[0091] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen:

- weist die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung auf, die der allgemeinen Formel $\text{R}_A\text{R}_B\text{R}_C\text{C}(\text{R}_D\text{X})$ entspricht,
- sind R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0092] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen:

- weist die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung auf, die der allgemeinen Formel $R_A R_B C = CHR_C$ entspricht,
- sind R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0093] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen:

- weist die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung auf, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C CX$ entspricht,
- sind R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0094] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die passivierte Oberfläche eine massige funktionale Gruppe auf, wobei die massige funktionale Gruppe aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus einem langkettigen Kohlenstoff, einer organischen Multi-Ring-Gruppe, einem Makromolekül und einem Kohlenstoffkäfigmolekül und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist.

[0095] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist eine Damaszener-Verbindungsstruktur auf:

- ein leitfähiges Merkmal über einem Substrat;
- eine poröse Siliziumschicht über dem leitfähigen Merkmal;
- ein Durchgangsloch, das sich durch die poröse Siliziumschicht hindurch zu dem leitfähigen Merkmal erstreckt; und
- einen Leiter, der das Durchgangsloch füllt.

[0096] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das leitfähige Merkmal eine Schicht aus funktionalen Halbleitereinrichtungen auf.

[0097] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist die poröse Siliziumschicht eine Dielektrizitätskonstante von weniger als etwa 3,9 auf.

[0098] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen:

- weist die poröse Siliziumschicht eine passivierte Siliziumfläche auf, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- sind wobei R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe; und
- ist X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht.

[0099] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat;
- Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht;
- Füllen der Öffnung mit einem Leiter;
- anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird; und
- Passivieren des porösen Siliziums,
- wobei das Passivieren des porösen Siliziums ein Behandeln des porösen Siliziums mit einem Hydroxytrialkylsilan aufweist.

[0100] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen entspricht das Hydroxytrialkylsilan der allgemeinen Formel $HO-Si-R_1 R_2 R_3$, wobei R_{1-3} aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, Butyl, Isobutyl, und Kombinationen davon besteht, ausgewählt sind.

[0101] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das Halogenieragens ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Thionylchlorid, Sulfurylchlorid und Carboxydichlorid besteht, ausgewählt ist.

[0102] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist die organometallische Verbindung ein Reagens auf, welches aus der Gruppe, die im Wesentlichen aus Grignard-Reagens, Lithiumdialkylkupfer, Trimethylaluminium und Methylithium besteht, ausgewählt ist.

[0103] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat;
- Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht;
- Füllen der Öffnung mit einem Leiter;
- anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird,

wobei das anodische Ätzen der Siliziumschicht aufweist:

- Platzieren der Siliziumschicht in Kontakt mit einem Säureelektrolyt, der Fluorwasserstoffsäure und mindestens eine weitere Säure enthält;
- Anlegen eines Anodenstroms zum Durchführen der anodischen Oxidation der Siliziumschicht;
- Messen einer Potentialdifferenz zwischen einem Elektrodenpaar, das in dem Säureelektrolyt angeordnet ist; und
- Anhalten der anodischen Oxidation, wenn eine Erhöhung in der Potentialdifferenz festgestellt wird.

[0104] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Siliziumschicht über einem Substrat;
- Bilden einer Öffnung durch die Siliziumschicht;
- Füllen der Öffnung mit einem Leiter;
- anodisches Ätzen der Siliziumschicht, so dass poröses Silizium gebildet wird;
- Umwandeln des porösen Siliziums in poröses Siliziumdioxid; und
- Passivieren des porösen Siliziumdioxids,
- wobei das Passivieren des porösen Siliziumdioxids mindestens die Behandlung des porösen Siliziumdioxids mit einem Hydroxytrialkylsilan oder die Behandlung des porösen Siliziumdioxids mit einem Halogenieragens, gefolgt von einer organometallischen Verbindung, aufweist.

[0105] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht, wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium aufweist und eine Sauerstoff-freie Oberfläche aufweist; und
- Passivieren der Oberfläche der Verbindungsstruktur.

[0106] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist eine Damaszener-Verbindungsstruktur auf:

- ein leitfähiges Merkmal über einem Substrat;
- eine poröse Siliziumschicht über dem leitfähigen Merkmal, wobei

- eine Oberfläche der porösen Siliziumschicht Sauerstoff-frei ist und wobei die Oberfläche passiviert ist;
- ein Durchgangsloch, das sich durch die poröse Siliziumschicht hindurch zu dem leitfähigen Merkmal erstreckt; und
- einen Leiter, der das Durchgangsloch füllt.

[0107] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist das leitfähige Merkmal eine Schicht aus funktionalen Halbleitereinrichtungen aufweist.

[0108] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist die poröse Siliziumschicht eine Dielektrizitätskonstante von weniger als etwa 3,9 aufweist.

[0109] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium oder einer Kombinationen von porösem Silizium und porösem Siliziumdioxid besteht, ausgewählt ist, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind und R_D eine Alkylgruppe ist; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0110] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium, porösem Siliziumdioxid und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist, wobei

- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B C = CHR_C$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind.

[0111] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium, porösem Siliziumdioxid und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C CX$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0112] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Gruppe, die im Wesentlichen aus porösem Silizium, porösem Siliziumdioxid und Kombinationen davon besteht, ausgewählt ist, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:
 - $X-CH_2-(CH_2)_n-CH_2-X$, mit $n = 0$ bis 2; oder
 - $Si(CH_3)_2-(CH_2)_n-Si(CH_3)_2-X$, mit $n = 0$ bis 2; oder

- $X-CH_2-(CH_2)_m(CR_1R_2)(CH_2)_o-CH_2-X$, mit $n/2 = 2+m+o+1$ und R_1 und R_2 unabhängig voneinander H, eine Alkyl- oder eine Aryl-Gruppe; entspricht, oder wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:

- $X-CH_2-(CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-CH_2-X$;
- oder

- $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$;
- oder

- $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_m(SiXCH_3)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$, entspricht,

- wobei $m \approx 0$ gilt und m eine Funktion der Porengröße des porösem Siliziums ist: Porengröße = $(m+2) * 0.122$ nm; und

X in allen Fällen unabhängig ausgewählt ist aus H, NH_2 , Cl, Br, I, OCH_3 , SO_2F oder $O-SO_2-CF_3$.

[0113] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind und R_D eine Alkylgruppe ist; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0114] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und

- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B C = CHR_C$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind.

[0115] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C CX$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind, und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

[0116] Gemäß einer oder mehrerer nicht-erfindungsgemäßen Ausführungsformen weist ein Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung auf:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und
- wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:
- $X-CH_2-(CH_2)_n-CH_2-X$, mit $n = 0$ bis 2 ;
oder
- $Si(CH_3)_2-(CH_2)_n-Si(CH_3)_2-X$, mit $n = 0$ bis 2 ;
oder
- $X-CH_2-(CH_2)_m(CR_1R_2)(CH_2)_o-CH_2-X$, mit $n/2 = 2 + m + o + 1$ und R_1 und R_2 unabhängig voneinander H, eine Alkyl- oder eine Aryl-Gruppe; entspricht, oder wobei die passivierte Oberfläche eine Verbindung aufweist, die einer der allgemeinen Formeln:
- $X-CH_2-(CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-CH_2-X$;
oder
- $X-Si(CH_3)_2-CH_2)_m(CXH)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$;

oder

- $X-Si(CH_3)_2-(CH_2)_m(SiXCH_3)(CH_2)_o-Si(CH_3)_2-X$, entspricht,
- wobei $m \approx 0$ gilt und m eine Funktion der Porengröße des porösem Siliziums ist: Porengröße = $(m+2) * 0.122$ nm; und

X in allen Fällen unabhängig ausgewählt ist aus H, NH_2 , Cl, Br, I, OCH_3 , SO_2F oder $O-SO_2-CF_3$.

[0117] Gemäß einer oder mehrerer Ausführungsformen weist eine Damaszener-Verbindungsstruktur auf:

- ein leitfähiges Merkmal über einem Substrat;
- eine poröse Siliziumschicht über dem leitfähigen Merkmal, wobei
- die poröse Siliziumschicht eine passivierte Siliziumoberfläche aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- wobei R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist;
- ein Durchgangsloch, das sich durch die poröse Siliziumschicht hindurch zu dem leitfähigen Merkmal erstreckt; und
- einen Leiter, der das Durchgangsloch füllt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung, wobei das Verfahren aufweist:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und
- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur ein poröses Dielektrikum aufweist, das aus einer Kombination von porösem Silizium und porösem Siliziumdioxid besteht, wobei
- das poröse Dielektrikum eine passivierte Oberfläche aufweist,
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind und R_D eine Alkylgruppe ist; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

2. Verfahren zum Herstellen einer Halbleitereinrichtung, wobei das Verfahren aufweist:

- Bilden einer Schicht, die funktionale Einrichtungen aufweist; und

- Bilden einer Verbindungsstruktur über der Schicht,
- wobei die Verbindungsstruktur poröses Silizium und eine passivierte Oberfläche aufweist, und
- wobei die passivierte Oberfläche eine chemische Verbindung aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- wobei R_A , R_B und R_C unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind und R_D eine Alkylgruppe ist; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist.

3. Damaszener-Verbindungsstruktur, welche aufweist:

- ein leitfähiges Merkmal über einem Substrat;
- eine poröse Siliziumschicht über dem leitfähigen Merkmal, wobei
- die poröse Siliziumschicht eine passivierte Siliziumoberfläche aufweist, die der allgemeinen Formel $R_A R_B R_C C(R_D X)$ entspricht,
- wobei R_A , R_B , R_C und R_D unabhängig Wasserstoff oder eine Alkylgruppe sind; und
- X eine funktionale Gruppe ausgewählt aus der Gruppe, die aus Br, I, O-Alkyl, O-Fluorsulfonat und O-Triflat besteht, ist;
- ein Durchgangsloch, das sich durch die poröse Siliziumschicht hindurch zu dem leitfähigen Merkmal erstreckt; und
- einen Leiter, der das Durchgangsloch füllt.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

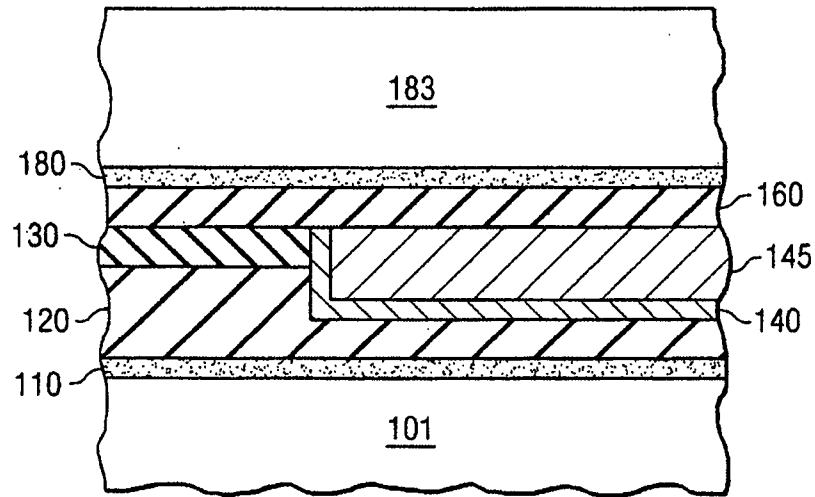


FIG. 1

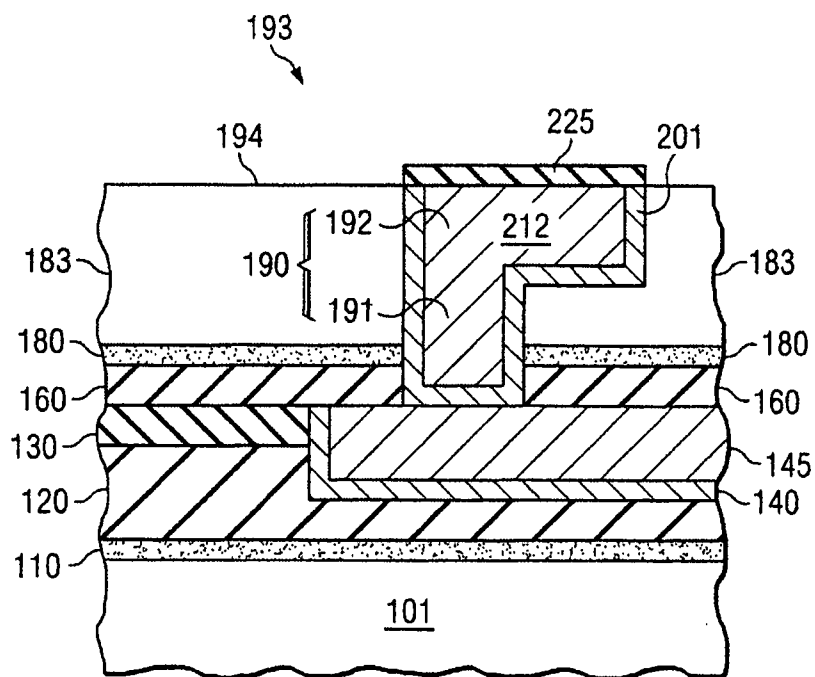


FIG. 2

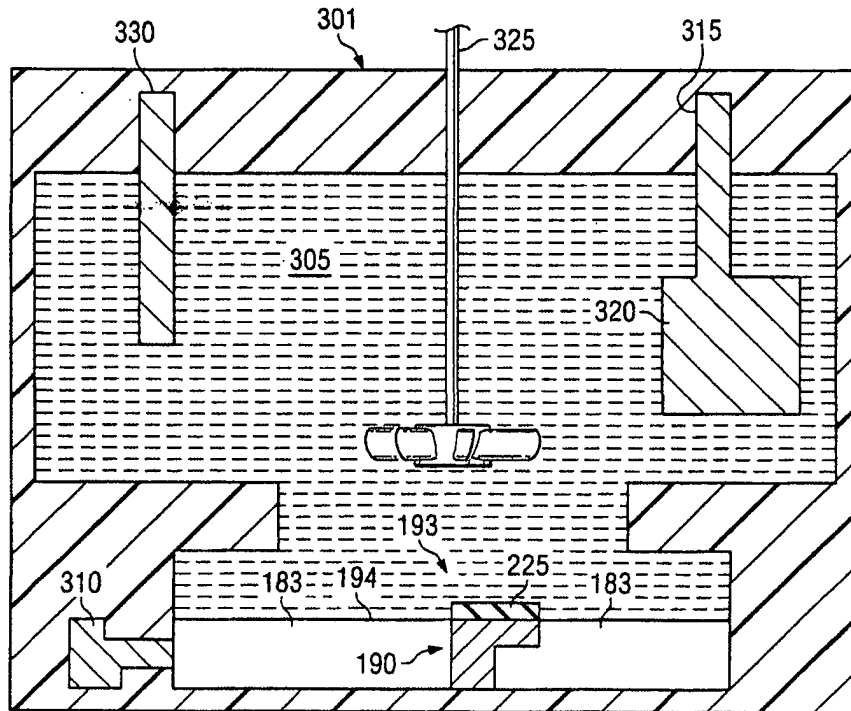


FIG. 3

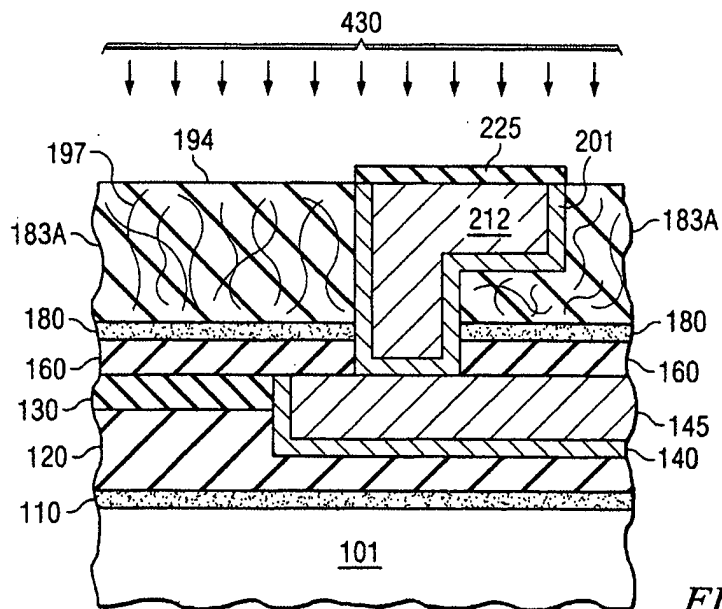


FIG. 4