



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 057 075 A1** 2007.05.31

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 057 075.5**

(22) Anmeldetag: **30.11.2005**

(43) Offenlegungstag: **31.05.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 21/768** (2006.01)

**H01L 23/522** (2006.01)

**C22C 9/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Advanced Micro Devices, Inc., Sunnyvale, Calif.,  
US**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80538 München**

(72) Erfinder:

**Streck, Christof, 01640 Coswig, DE; Kahlert,  
Volker, 01217 Dresden, DE; Hanke, Alexander,  
01445 Radebeul, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 102 40 114 A1**

**US 65 62 416 B2**

**US 68 75 692 B1**

**US 66 70 271 B1**

**US 65 18 167 B1**

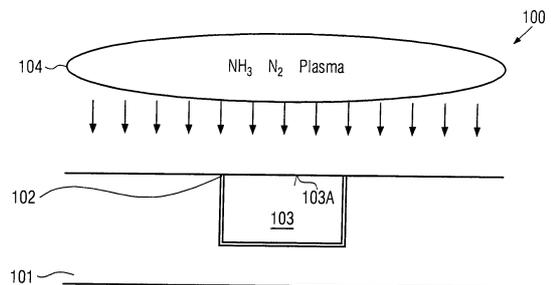
**US 63 09 959 B1**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Halbleiterbauelement mit einer Kupferlegierung als Barrierenschicht in einer Kupfermetallisierungsschicht**

(57) Zusammenfassung: Durch Bilden einer Zinn- und Nickel-enthaltenden Kupferlegierung auf einer freiliegenden Kupferoberfläche, die behandelt ist, so dass diese ein Kupferoxid darauf aufweist, kann eine zuverlässige und äußerst effiziente Deckschicht vorgesehen werden. Die Zinn- und Nickel-enthaltende Kupferlegierung kann in einer gasförmigen Umgebung auf der Grundlage von Zinnhydrid und Nickel, Kohlenmonoxid in einer thermisch aktivierten Reaktion gebildet werden.



**Beschreibung**

Gebiet der vorliegenden Erfindung

**[0001]** Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Erfindung die Herstellung integrierter Schaltungen und betrifft insbesondere die Herstellung von Metallisierungsschichten mit gut leitenden Metallen, etwa Kupfer, die in ein dielektrisches Material eingebettet sind, das eine Deckschicht aufweist, die als eine effiziente Diffusionsbarrierschicht für das Metall wirkt.

Beschreibung des Stands der Technik

**[0002]** In modernen integrierten Schaltungen haben minimale Strukturgrößen, etwa die Kanallänge von Feldeffekttransistoren, nunmehr den Bereich unter 1  $\mu\text{m}$  erreicht, wodurch das Leistungsverhalten dieser Schaltungen im Hinblick auf die Geschwindigkeit und/oder Leistungsaufnahme ständig verbessert wurde. Wenn die Größe der einzelnen Schaltungselemente deutlich reduziert wird, wodurch beispielsweise die Schaltgeschwindigkeit der Transistorelemente verbessert wird, wird auch der verfügbare Platz für Verbindungsleitungen, die die einzelnen Schaltungselemente elektrisch verbinden, ebenso reduziert. Folglich müssen die Abmessungen dieser Verbindungsleitungen verringert werden, um dem geringeren Anteil an verfügbarem Platz und einer erhöhten Anzahl an Schaltungselementen pro Chip Rechnung zu tragen.

**[0003]** In integrierten Schaltungen mit minimalen Abmessungen von ungefähr 0,35  $\mu\text{m}$  und weniger ist ein begrenzender Faktor des Bauteilverhaltens die Signalausbreitungsverzögerung, die durch die Schaltgeschwindigkeit der Transistorelemente hervorgerufen wird. Wenn die Kanallänge dieser Transistorelemente 0,1  $\mu\text{m}$  und weniger erreicht, zeigt es sich jedoch, dass die Signalausbreitungsverzögerung nicht mehr durch die Feldeffekttransistoren beschränkt ist, sondern dass diese auf Grund der erhöhten Schaltungsdichte durch die Verbindungsleitungen begrenzt wird, da die Kapazität zwischen Leitungen ansteigt und die Leitfähigkeit der Leitungen auf Grund ihres geringeren Querschnitts reduziert ist. Die parasitären RC-Zeitkonstanten erfordern daher die Einführung einer neuen Art von Material zur Herstellung der Metallisierungsschicht.

**[0004]** Herkömmlicherweise werden Metallisierungsschichten, d. h. Verdrahtungsschichten mit Metallleitungen und Kontaktdurchführungen zur Bereitstellung der elektrischen Verbindung der Schaltungselemente gemäß einem speziellen Schaltungsaufbau, mittels eines dielektrischen Schichtstapels gebildet, der beispielsweise Siliziumdioxid und/oder Siliziumnitrid aufweist, wobei Aluminium als das typische Metall verwendet ist. Da Aluminium eine deutliche Elektromigration bei höheren Stromdichten zeigt,

wie sie in integrierten Schaltungen mit äußerst großenreduzierten Strukturelementen erforderlich sein können, wird Aluminium zunehmend durch Kupfer ersetzt, das einen deutlich geringen elektrischen Widerstand und eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen Elektromigration aufweist. Für äußerst anspruchsvolle Anwendungen werden zusätzlich zur Verwendung von Kupfer und/oder Kupferlegierungen die gut bekannten und gut etablierten dielektrischen Materialien Siliziumdioxid ( $\epsilon$  ungefähr 4,2) und Siliziumnitrid ( $\epsilon$  größer 5) durch sogenannte dielektrische Materialien mit kleinem  $\epsilon$  ersetzt. Jedoch ist der Übergang von der gut bekannten und gut etablierten Aluminium/Siliziumdioxid-Metallisierungsschicht zu einer Metallisierungsschicht auf Kupferbasis möglicherweise in Verbindung mit einem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$  mit einer Reihe von Problemen verknüpft, die es zu lösen gilt.

**[0005]** Beispielsweise kann Kupfer nicht in relativ großen Mengen in effizienter Weise durch gut etablierte Abscheideverfahren, etwa chemische und physikalische Dampfabscheidung, aufgebracht werden. Des Weiteren kann Kupfer nicht in effizienter Weise durch gut etablierte anisotrope Ätzprozesse strukturiert werden. Daher wird die sogenannte Damaszener- oder Einlegetechnik bei der Herstellung von Metallisierungsschichten mit Kupferleitungen und Kontaktdurchführungen eingesetzt. Typischerweise wird in der Damaszener-Technik die dielektrische Schicht abgeschieden und anschließend strukturiert, so dass diese Gräben und Kontaktlochoffnungen erhält, die nachfolgend mit Kupfer durch Plattierungsverfahren, etwa Elektroplattieren oder stromloses Plattieren, gefüllt werden. Diese Damaszener-Technik zur Herstellung von kupferbasierten Metallisierungsschichten in standardmäßigen dielektrischen Materialien, etwa Siliziumdioxid und in einer Reihe von Dielektrika mit kleinem  $\epsilon$ , erfordert typischerweise das Herstellen einer Diffusionsbarrierschicht an Grenzflächen zu den benachbarten dielektrischen Materialien, da Kupfer gut in einer Vielzahl von Dielektrika, etwa Siliziumdioxid und vielen dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  diffundiert. Des Weiteren ist die Diffusion von Feuchtigkeit und Sauerstoff in das Metall auf Kupferbasis zu unterdrücken, da Kupfer leicht mit Ausbildung oxidierter Bereiche reagiert, wodurch eine Beeinträchtigung der Eigenschaften der kupferbasierten Metallleitung in Hinblick auf die Haftung, die Leitfähigkeit und die Widerstandsfähigkeit gegen Elektromigration erfolgt. Beispielsweise ist Siliziumnitrid als eine effektive Kupferdiffusionsbarriere bekannt und kann beispielsweise als eine Deckschicht verwendet werden. In anderen Fällen, wenn die moderat hohe Permittivität des Siliziumnitrids als ungeeignet erachtet wird, wird häufig stickstoffangereichertes Siliziumkarbid ( $\text{SiCN}$ ) als eine Kupferdiffusionsbarriere verwendet. Trotz des diffusionsbehindernden Effektes der Siliziumnitriddeckschichten und der siliziumkarbidbasierten Deckschichten zeigt es

sich, dass die Widerstandsfähigkeit des Kupfers gegen strominduzierten Materialtransport (Elektromigration) deutlich von den Eigenschaften einer Grenzfläche zwischen dem kupferbasierten Metall und der benachbarten Deckschicht abhängt. Daher ist es in modernen integrierten Schaltungen mit hohen Stromdichten in der Regel vorteilhaft, den Abscheideprozess für die Deckschicht so zu gestalten, dass ein gewünschtes hohes Maß an Haftung und damit ein hohes Leistungsvermögen im Hinblick auf die Elektromigration erreicht wird. Zu diesem Zweck werden entsprechende Abscheideverfahren mit vorhergehenden plasmagestützten Reinigungsschritten typischerweise eingesetzt. Mit Bezug zu den Fig. 1a und 1b wird nunmehr ein typischer konventioneller Prozessablauf zur Herstellung einer SiCN-Deckschicht detaillierter beschrieben.

**[0006]** Fig. 1a zeigt schematisch eine Querschnittsansicht eines Halbleiterbauelements **100** vor der Herstellung einer Deckschicht auf Siliziumnitridbasis oder Siliziumkarbidnitridbasis auf einem kupferenthaltenden Metallgebiet. Das Halbleiterbauelement **100** umfasst ein Substrat **101**, das Schaltungselemente, etwa Transistoren, Kondensatoren, und dergleichen enthalten kann, die der Einfachheit halber nicht gezeigt sind. Ferner kann das Substrat darauf ausgebildet eine oder mehrere Metallisierungsschichten aufweisen, d. h. dielektrische Schichten, in denen metallgefüllte Leitungen und Kontaktdurchführungen eingebettet sind, um damit die erforderliche elektrische Verbindung zwischen den einzelnen Schaltungselementen zu schaffen. Der Einfachheit halber ist ein einzelnes kupferenthaltendes Metallgebiet **103** gezeigt, um damit kupferbasierte Metallleitungen einer oder mehrerer Metallisierungsschichten zu repräsentieren. Das kupferbasierte Metallgebiet **103** ist in einem geeigneten dielektrischen Material, etwa Siliziumdioxid, fluordotiertem Siliziumdioxid, einem Material mit kleinem  $\epsilon$ , etwa wasserstoffangereichertem Siliziumoxikarbid (SiCOH), geeigneten Polymermaterialien oder einer beliebigen Kombination der vorhergehenden Materialien eingebettet. Wie zuvor erläutert ist, kann Kupfer leicht in einer Vielzahl dielektrischer Materialien diffundieren und daher wird typischerweise eine leitende Barrierenschicht **102** zwischen dem dielektrischen Material des Substrats **101** und dem kupferenthaltenden Material des Gebiets **103** vorgesehen. Die Barrierenschicht **102** kann aus zwei oder mehreren einzelnen Schichten aufgebaut sein, um damit für die erforderlichen Eigenschaften nicht nur im Hinblick auf die kupferdiffusionsblockierende Wirkung, sondern auch im Hinblick auf die Haftung zu dem umgebenden Material und die Diffusionsabblockung von Sauerstoff, Fluor und anderen reaktiven Gattungen in das Kupfergebiet **103** hinein bereitzustellen. Beispielsweise werden Tantal, Tantalnitrid, Titan, Titanitrid und Kombinationen davon häufig als geeignete Materialien für die Barrierenschicht **102** verwendet.

**[0007]** Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung des Halbleiterbauelements **100**, wie es in Fig. 1a gezeigt ist, kann die folgenden Prozesse umfassen. Nach der Ausbildung von Schaltungselementen, die äußerst größenskalierte kritische Abmessungen in anspruchsvollen Anwendungen aufweisen können, etwa eine Gatelänge von Feldeffekttransistoren im Bereich von ungefähr 50 bis 100 nm oder sogar weniger, werden eine oder mehrere Metallisierungsschichten gemäß gut etablierter Damaszener-Techniken, d.h., Einzel- oder Dual-Technik, hergestellt. D. h., es wird ein geeigneter dielektrischer Schichtstapel mit einer Ätzstopp/Barrierenschicht ähnlich der Deckschicht, die auf der Oberseite des kupferbasierten Metallgebiets **103** herzustellen ist, abgeschieden, woran sich eine weitere dielektrische Schicht anschließt, etwa Siliziumdioxid, oder ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$ , das durch eine gut etablierte Verfahrenstechnik, etwa plasmaunterstütztes CVD (chemische Dampfabcheidung), Aufschleudertechniken, und dergleichen hergestellt werden kann. Danach wird der dielektrische Schichtstapel durch Photolithographie und Ätzverfahren strukturiert, um damit Gräben und Kontaktdurchführungen in dem dielektrischen Schichtstapel zu bilden, wobei die untere Ätzstopp/Barrierenschicht oder Deckschicht (nicht gezeigt) als ein Ätzstopp verwendet werden kann. Der Einfachheit halber ist lediglich ein einzelner Graben für die weitere Erläuterung dargestellt, in welchem das kupferbasierte Metallgebiet **103** zu bilden ist. Somit wird nach dem Strukturieren des entsprechenden Grabens die Barrierenschicht **102** auf der Grundlage gut etablierter Abscheideverfahren, etwa der Sputter-Abscheidung (chemische Dampfabcheidung), ALD (Atomlagendeposition), und dergleichen gebildet. Beispielsweise können gut etablierte Rezepte für die Sputter-Abscheidung von Tantal und Tantalnitrid sowie Titan und Titanitrid verwendet werden, um die Barrierenschicht **102** mit den gewünschten Eigenschaften herzustellen. Danach kann eine Saatschicht (nicht gezeigt) mit beispielsweise Kupfer durch Sputter-Abscheidung oder durch eine andere geeignete Abscheidetechnik hergestellt werden. Auf der Grundlage der Saatschicht kann Kupfer z. B. mittels Elektrolattieren oder stromlosen Plattieren abgeschieden werden, wodurch die zuvor ausgebildeten Gräben und Kontaktdurchführungen zuverlässig gefüllt und damit auch das kupferbasierte Metallgebiet **103** gebildet werden. Danach wird überschüssiges Material, das während des vorhergehenden elektrochemischen Abscheideprozesses aufgebracht wurde, sowie Material der Saatschicht und der leitenden Barrierenschicht **102**, das auf Bereichen außerhalb des kupferbasierten Metallgebiets **103** ausgebildet ist, entfernt, um damit das elektrisch isolierte kupferbasierte Metallgebiet **103** zu schaffen. Zu diesem Zweck kann ein Abtragsprozess, der typischerweise einen CMP- (chemisch-mechanischen Polier-) Prozess umfasst, ausgeführt werden, während welchem eine Oberfläche **103a** des Gebiets **103** freige-

legt wird, die somit chemischen Reaktionen unterliegen kann, die zu verfärbten und erodierten oder oxidierten Bereichen auf der Oberfläche **103a** führen können, da Kupfer leicht mit Feuchtigkeit, Sauerstoff und anderen Spurengasen reagieren kann, die typischerweise während des Entfernens des überschüssigen Materials und nachfolgender Substrathärtungsprozessen angetroffen werden. Folglich wird vor der Herstellung einer isolierenden Deckschicht, die auch als eine Ätzstoppschicht für die Ausbildung weiterer Metallisierungsschichten auf dem Substrat **101** dienen kann, die Oberfläche **103** typischerweise gereinigt, um die Leitfähigkeit und die Hafteigenschaften und damit das Elektromigrationsverhalten des Gebiets **103** zu verbessern. Dazu wird häufig eine plasmabasierte Behandlung ausgeführt, um in effizienter Weise oxidierte, verfärbte und erodierte Bereiche auf der Oberfläche **103a** zu entfernen, während gleichzeitig im Wesentlichen eine Neubildung dieser Bereiche vermieden wird. Beispielsweise kann eine Plasmaumgebung **104** auf der Grundlage von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) erzeugt werden, wobei die Plasmazündung typischerweise auf der Grundlage von Radiofrequenz (RF) ausgeführt wird, deren Leistungsdichte wesentlich in Verbindung mit den Gasdurchflussraten von Ammoniak und Stickstoff die Wirksamkeit der Plasmabehandlung **104** bestimmen. Nach der Plasmabehandlung **104** kann die Umgebung verändert werden, indem geeignete Vorstufenmaterialien zugeführt werden, so dass eine geeignete Abscheideatmosphäre in-situ errichtet wird, wodurch eine unerwünschte Verfärbung und Oxidation der freiliegenden Oberfläche **103a** vermieden wird. Nach einem entsprechenden Stabilisierungsschritt zum Einführen der Vorstufengase, etwa 3MS (Trimethylsilan) und Ammoniak zur Herstellung einer Siliziumkarbidnitridschicht, wird eine geeignete RF-Leistung zugeführt, um damit ein entsprechendes Plasma herzustellen, wodurch der Abscheideprozess in Gang gesetzt wird.

**[0008]** Fig. 1b zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **100** während des Abscheideschritts, wobei auf der Grundlage des Plasmas **105**, das 3MS und  $\text{NH}_3$  enthält, eine Deckschicht **106** mit stickstoffangereicherter Siliziumkarbid ( $\text{SiCN}$ ) über dem Substrat **101** und auf der freiliegenden Oberfläche **103a** gebildet wird, wodurch eine entsprechende Grenzfläche hergestellt wird, die der Einfachheit halber ebenso mit **103a** bezeichnet ist. Danach kann die weitere Bearbeitung fortgesetzt werden, indem weitere Metallisierungsschichten hergestellt werden, wobei die Deckschicht **106** als eine Ätzstoppschicht zur Strukturierung eines entsprechenden dielektrischen Schichtstapels zur Herstellung entsprechender Kontaktdurchführungen und Gräben dienen kann.

**[0009]** In weiteren Vorgehensweisen wird eine Siliziumnitridschicht oder eine Kombination aus Siliziumnitrid, Siliziumkarbid und stickstoffangereicherter

Siliziumkarbid gebildet, um in geeigneter Weise die Eigenschaften einzustellen. Obwohl gute Ergebnisse im Hinblick auf die diffusionsblockierenden Eigenschaften erreicht werden können, kann eine merkliche Schädigung der freigelegten Kupferoberfläche **103a** beobachtet werden, die durch die vorhergehende Plasmabehandlung **104** hervorgerufen wird. Ferner kann in anspruchsvollen Anwendungen die moderat hohe Permittivität der Deckschicht **106** dennoch zu einem merklichen Leistungsverlust führen. Es wurde daher in einigen Lösungen vorgeschlagen, die freigelegte Oberfläche **103a** in einem Plasma mit Silan und Stickstoff zu behandeln, um ein Kupfersilizid zu bilden, das auch einen merklichen Anteil an Stickstoff aufweisen kann. Ein entsprechendes Silizid kann, wenn es ausreichend stabil und dick ist, die Deckschicht **106** ersetzen, wodurch jedoch möglicherweise die Leitfähigkeit des Metallgebiets **103** negativ beeinflusst wird. In anderen Vorgehensweisen wird die Plasmabehandlung weggelassen und andere Vorbehandlungen oder Abscheidetechniken werden für die oben genannten dielektrischen Materialien eingesetzt, wobei jedoch die verbleibende hohe Permittivität diese Vorgehensweise wenig attraktiv macht, während die Grenzfläche zwischen dem Kupfer und dem Dielektrikum dennoch kritisch im Hinblick auf die Elektromigration ist. In noch weiteren konventionellen Verfahren wird die Oberfläche **103a** so behandelt, dass diese eine silizium- und/oder stickstoffenthaltende Legierung ausbildet, wodurch es möglich ist, die Herstellung der Deckschicht **106** wegzulassen. In dieser Lösung ist jedoch das Wachstum der Legierung äußerst kritisch und somit kann die Prozesssteuerung und das Bauteilverhalten durch eine reduzierte Zuverlässigkeit bestimmt sein. Ähnliche Schwierigkeiten treten bei dem Bereitstellen einer Kupfer-Wolfram-Phosphor-Legierung auf, die zusätzlich durch einen nasschemischen Prozess zu bilden ist, wodurch die Prozesskomplexität noch weiter ansteigt.

**[0010]** Angesichts der zuvor beschriebenen Situation besteht ein Bedarf für eine verbesserte Technik, die die Herstellung kupferbasierter Metallisierungsschichten mit einer effizienten Deckschicht ermöglicht, während eines oder mehrere der zuvor erkannten Probleme vermieden wird oder deren Auswirkungen zumindest reduziert werden.

#### Überblick über die Erfindung

**[0011]** Im Allgemeinen richtet sich die vorliegende Erfindung an das Problem der Barrierschichten für kupferenthaltende Metallgebiete, etwa Metallleitungen und Kontaktdurchführungen, und löst dieses Problem, indem eine freiliegende Kupferoberfläche so behandelt ist, dass diese eine zinn- und nickelenthaltende Legierung erhält, die dafür bekannt ist, dass sie gute Eigenschaften im Hinblick auf die Stabilität, die kupferdiffusionsblockierende Wirkung und der-

gleichen aufweist. Des weiteren richtet sich die vorliegende Erfindung an eine Technik, die die Herstellung einer entsprechenden zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung auf freiliegenden Kupferoberflächenbereichen mittels eines äußerst effizienten Herstellungsprozesses auf der Grundlage der Vorstufenmaterialien ermöglicht, die in effizienter Weise in Verbindung mit einer thermisch aktivierten Reaktion verwendet werden können, um damit die Möglichkeit zu schaffen, plasmaunterstützte Behandlungen wegzulassen und dadurch die damit verknüpften nachteiligen Auswirkungen zu vermeiden oder zumindest deutlich zu reduzieren.

**[0012]** Gemäß einer anschaulichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren das Bilden eines kupferenthaltenden Metallgebiets in einer ersten dielektrischen Schicht einer Metallisierungsschicht eines Halbleiterbauelements, wobei das kupferenthaltende Metallgebiet eine freiliegende oxidierte Oberfläche aufweist. Des weiteren umfasst das Verfahren das Aussetzen der freiliegenden oxidierten Oberfläche einer gasförmigen Umgebung zum Umwandeln der oxidierten Oberfläche in eine zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung.

**[0013]** Gemäß einer noch weiteren anschaulichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren das Bilden einer Öffnung in einer dielektrischen Schicht eines Halbleiterbauelements und das Bilden einer Kupferoxidschicht an inneren Wänden der Öffnung. Des weiteren umfasst das Verfahren das Umwandeln des Kupferoxids in eine zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung durch Einbringen des Halbleiterbauelements in eine gasförmige Umgebung, um eine leitende Barrierenschicht zu bilden. Schließlich umfasst das Verfahren das Füllen der Öffnung mit einem kupferenthaltenden Metall.

**[0014]** Gemäß einer noch weiteren anschaulichen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Halbleiterbauelement ein kupferenthaltendes Metallgebiet, das in einem dielektrischen Material eingebettet ist, wobei das kupferenthaltende Metallgebiet mehrere Oberflächenbereiche umfasst. Mindestens einer der mehreren Oberflächenbereiche des kupferenthaltenden Metallgebiets umfasst eine zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung, die eine Grenzfläche mit dem dielektrischen Material bildet.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0015]** Weitere Vorteile, Aufgaben und Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den angefügten Patentansprüchen definiert und gehen deutlicher aus der folgenden detaillierten Beschreibung hervor, wenn diese mit Bezug zu den begleitenden Zeichnungen studiert wird, in denen:

**[0016]** [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) schematisch Quer-

schnittsansichten eines konventionellen Halbleiterbauelements während der Herstellung einer dielektrischen Barrierenschicht mit gut etablierten Materialien, etwa stickstoffangereichertem Siliziumkarbid, zeigen, wobei eine freiliegende Kupferfläche mittels einer Plasmabehandlung vorgereinigt wird; und

**[0017]** [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2h](#) schematisch Querschnittsansichten eines Halbleiterbauelements mit einem kupferenthaltenden Metallgebiet während diverser Herstellungsphasen zur Bildung einer zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung zumindest auf einem Oberflächenbereich des kupferenthaltenden Metallgebiets gemäß anschaulicher Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zeigen.

#### Detaillierte Beschreibung

**[0018]** Obwohl die vorliegende Erfindung mit Bezug zu den Ausführungsformen beschrieben ist, wie sie in der folgenden detaillierten Beschreibung sowie in den Zeichnungen dargestellt sind, sollte es selbstverständlich sein, dass die folgende detaillierte Beschreibung sowie die Zeichnungen nicht beabsichtigen, die vorliegende Erfindung auf die speziellen anschaulichen offenbarten Ausführungsformen einzuschränken, sondern die beschriebenen anschaulichen Ausführungsformen stellen lediglich beispielhaft die diversen Aspekte der vorliegenden Erfindung dar, deren Schutzbereich durch die angefügten Patentansprüche definiert ist.

**[0019]** Im Allgemeinen betrifft die vorliegende Erfindung eine neue Technik für die Herstellung einer Barrierenschicht oder einer Deckschicht für kupferenthaltende Metallgebiete, etwa Metallleitungen und Kontaktdurchführungen, wie sie typischerweise in modernen Halbleiterbauelementen mit Metallisierungsschichten auf der Grundlage von Kupfer, möglicherweise in Verbindung mit dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$ , verwendet werden, wobei moderat hohe Stromdichten und Betriebstemperaturen in den Metallleitungen und Kontaktdurchführungen während des Betriebs der Bauelemente anzutreffen sind. Wie zuvor erläutert ist, können belastungsinduzierte Materialtransportphänomene in Leitungen und Kontaktdurchführungen deutlich die Gesamtzuverlässigkeit und Lebensdauer von Halbleiterbauelementen beeinflussen, da der Ausfall selbst einer einzelnen Leitung oder Kontaktdurchführung innerhalb der Metallisierungsschicht einen Ausfall des gesamten Bauelements oder zumindest eine Reduzierung seiner Zuverlässigkeit hervorrufen kann. Ein Materialtransport in Metallleitungen, etwa Elektromigration, das das Phänomen einer Kupferdiffusion beschreibt, die durch einen elektrischen Strom in einer Metallleitung hervorgerufen wird und Hohlräume und Materialanhäufungen in der Metallleitung schafft, kann deutlich von den Eigenschaften der Diffusionswege abhängen, die typischerweise an Grenzflächen zwischen

zwei unterschiedlichen Materialschichten ausgebildet sind. Jüngere Forschungen scheinen zu bestätigen, dass die Eigenschaften der Grenzfläche zwischen den kupferenthaltenden Metallen und einer dielektrischen Deckschicht, die beispielsweise Siliziumnitrid, Siliziumkarbid, stickstoffangereichertes Siliziumkarbid oder Kombinationen davon aufweist, einen starken Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit der Metallleitung im Hinblick auf Elektromigration ausübt. Ferner kann der negative Einfluss von dielektrischen Deckschichten auf die Gesamtpermittivität von dielektrischen Materialien mit kleinem  $\epsilon$  deutlich die Arbeitsgeschwindigkeit und somit das Leistungsvermögen moderner Halbleiterbauelemente verringern. Daher beschreibt die vorliegende Erfindung das Bereitstellen einer äußerst zuverlässigen und stabilen zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung zur Herstellung mindestens einer Deckschicht, die eine äußerst stabile und zuverlässige Grenzfläche mit einem benachbarten dielektrischen Material bildet, wobei in einigen anschaulichen Ausführungsformen das benachbarte dielektrische Material auf der Grundlage der Leistungsverhaltenskriterien anstatt im Hinblick auf Diffusions- und Haftungsaspekte ausgewählt werden kann. Somit kann eine sehr dünne dielektrische Deckschicht vorgesehen werden oder die Deckschicht kann vollständig weggelassen werden, wodurch die Möglichkeit geschaffen wird, direkt ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  auf der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung zu bilden, wodurch sich ein deutlicher Leistungsgewinn ergibt. Ferner kann in einigen anschaulichen Ausführungsformen die zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung in Form einer leitenden Barrierenschicht innerhalb kupferenthaltender Gräben und Kontaktdurchführungen vorgesehen werden, wodurch die Möglichkeit geschaffen wird, konventionelle Barrierenschichten, etwa tantal- und tantalnitridbasierte Schichten, zu ersetzen. Somit kann ein merklicher Gewinn an Leistungsvermögen auf Grund der besseren Leitfähigkeit der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung im Vergleich zu konventionellen Barrierenschichtstapeln erreicht werden.

**[0020]** Mit Bezug zu den [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2h](#) werden nunmehr weitere anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung detaillierter beschrieben.

**[0021]** [Fig. 2a](#) zeigt schematisch im Querschnitt ein Halbleiterbauelement **200** in einem fortgeschrittenen Herstellungsstadium. Das Halbleiterbauelement **200** kann ein Bauteil mit Schaltungselementen repräsentieren, etwa Transistoren, die möglicherweise in Kombination mit anderen Strukturelementen zur Herstellung mechanischer und/oder optischer Komponenten vorgesehen sind. Das Bauelement **200** kann ein Substrat **201** umfassen, das in Form eines Siliziumvollssubstrats, eines SOI- (Silizium-auf-Isolator-) Substrats oder eines anderen geeigneten halbleitenden oder isolierenden Trägermaterials vorgesehen

kann, das darauf ausgebildet eine geeignete Halbleiterschicht für die Herstellung von Schaltungselementen aufweist. Der Einfachheit halber sind derartige Schaltungselemente in [Fig. 2a](#) nicht gezeigt. Des Weiteren kann das Bauelement **200** eine oder mehrere Metallisierungsschichten mit kupferenthaltenden Metallleitungen und Kontaktdurchführungen aufweisen, wobei der Einfachheit halber eine einzelne Metallisierungsschicht **207** in [Fig. 2a](#) gezeigt ist. Die Metallisierungsschicht **207** kann beliebige geeignete dielektrische Materialien enthalten und kann ferner ein oder mehrere kupferenthaltende Metallgebiete **203** aufweisen, wobei das kupferenthaltende Metallgebiet **203** eine Metallleitung repräsentieren kann, die in das dielektrische Material der Schicht **207** eingebettet ist. Das dielektrische Material der Schicht **207** kann in Form von Siliziumdioxid, fluordotiertem Siliziumdioxid, einem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$ , etwa SiCOH, Polymermaterialien oder Kombinationen davon vorgesehen werden. In dieser Hinsicht sollte beachtet werden, dass ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  als ein Material zu verstehen ist, das eine relative Permittivität von 3,0 oder weniger aufweist. Das kupferenthaltende Metallgebiet **203** weist eine leitende Barrierenschicht **202** auf, die aus einem geeigneten Barrierenschicht/Haftmaterial, etwa Tantal, Tantalnitrid, Titan, Titanitrid, Wolframnitrid oder Kombinationen davon oder anderen geeigneten Materialien aufgebaut ist. Die Barrierenschicht **202** kann aus zwei oder mehr individuellen Schichten mit unterschiedlicher Materialzusammensetzung gebildet sein, um damit die geforderten Barrieren- und Haftigenschaften bereitzustellen. In anderen anschaulichen Ausführungsformen, wie nachfolgend detaillierter erläutert ist, kann die Barrierenschicht **202** aus einer zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung, möglicherweise in Verbindung mit anderen Materialien, aufgebaut sein. Das Halbleiterbauelement **200** ist in einer Fertigungssequenz gezeigt, in der eine Oberfläche **203a** frei liegt und Kupferoxid aufweisen kann, das eine im Wesentlichen zusammenhängende Kupferoxidschicht **203b** mit einer Dicke von einigen 10 Angstrom bis einigen 10 nm besitzen kann. Es sollte beachtet werden, dass der Begriff „kupferenthaltendes Metallgebiet“, wie er für das Gebiet **203** verwendet wird, so zu verstehen ist, dass damit auch Kupferoxid, das in dem Gebiet **203b** enthalten ist, mit eingeschlossen ist, obwohl Kupferoxid im Allgemeinen nicht als ein Metall bezeichnet wird.

**[0022]** Ein typischer Prozessablauf zur Herstellung des Halbleiterbauelements **200**, wie es in [Fig. 2a](#) gezeigt ist, kann im Wesentlichen die gleichen Prozesse aufweisen, wie sie zuvor mit Bezug zu dem Bauelement **100** beschrieben sind. D. h., gut etablierte Prozessverfahren können eingesetzt werden, um Schaltungselemente und andere Mikrostrukturelemente herzustellen, woran sich gut etablierte Einzel- oder Dual-Einlegetechniken für die Herstellung der Metallisierungsschicht **207** anschließen. Während

der Prozesssequenz zur Herstellung der Metallisierungsschicht **207** kann die Oberfläche **203a** beispielsweise durch CMP freigelegt werden, um damit das kupferenthaltende Gebiet als ein elektrisch isoliertes leitendes Gebiet bereitzustellen, wie dies zuvor beschrieben ist. Nach dem Freilegen der Kupferoberfläche **203a** kann das Bauelement **200** einer geeigneten Behandlung ausgesetzt werden, um die Oberfläche **203a** zu oxidieren, wodurch die Kupferoxidschicht **203** gebildet wird. Beispielsweise kann nach dem CMP-Prozess und weiteren Fertigungsprozessen zum Reinigen oder Anpassen der kristallinen Struktur des Kupfermaterials in dem Gebiet **203** eine oxidierende Umgebung errichtet werden, in der das Kupfer des Gebiets **203** gut mit dem Sauerstoff reagieren kann, um damit ein Kupferoxid in Form von  $\text{Cu}_x\text{O}_y$  zu bilden, wobei Prozessparameter effizient so eingestellt werden können, um eine Dicke der Schicht **203b** zu erreichen, wie dies durch Prozess- oder Bauteilerfordernisse vorgegeben ist. Beispielsweise kann in einigen anschaulichen Ausführungsformen der zuvor definierte Dickenbereich durch eine beliebige geeignete Behandlung auf der Grundlage von Sauerstoff, Feuchtigkeit und dergleichen erreicht werden. Es sollte beachtet werden, dass ein beliebiges Kupferoxidationsprozessschema, das typischerweise in dem konventionellen Prozessablauf unerwünscht ist, vorteilhaft ausgenutzt werden kann, um die Kupferoxidschicht **203b** zu bilden, wobei die im Wesentlichen kontinuierliche Schicht **203b** auch als eine „Passivierungs“-Schicht dienen kann, wenn die weitere Bearbeitung des Halbleiterbauelements **200** in einer im Wesentlichen sauerstofffreien Atmosphäre fortgesetzt wird. In anderen Ausführungsformen kann die Oberfläche **203a** nach dem Herstellen des kupferenthaltenden Metallgebiets **203** mittels eines geeigneten Materials behandelt werden, das zur Passivierung der Kupferoberfläche verwendbar ist und das vorzugsweise ohne eine Plasmabehandlung vor der Herstellung der Kupferoxidoberfläche **203b** entfernt werden kann.

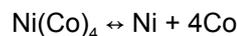
**[0023]** Nach der Herstellung der Kupferoxidschicht **203b** wird in einer anschaulichen Ausführungsform das Halbleiterbauelement **200** einer gasförmigen Umgebung **204** ausgesetzt, die in einer geeigneten Prozesskammer, etwa einer CVD-Abscheidekammer, und dergleichen, eingerichtet wird. Die gasförmige Umgebung **204** kann zumindest zeitweilig ein Vorstufengas aufweisen, das Zinn enthält, etwa Zinnhydrid ( $\text{SnH}_4$ ), das mit einem geeigneten Trägergas, etwa Helium oder einem anderen geeigneten im Wesentlichen inerten Gas bereitgestellt wird, um damit in geeigneter Weise die Konzentration des Zinnhydrids in der gasförmigen Umgebung **204** einzustellen. In einer anschaulichen Ausführungsform kann die Herstellung der Kupferoxidschicht **203b** ebenso in der gasförmigen Umgebung **204** vor dem Zuführen des zinnenthaltenden Vorstufengases ausgeführt werden, so dass die Kupferoxidschicht **203b** und die

nachfolgende Behandlung auf der Grundlage des zinnenthaltende Vorstufengases in-situ ausgeführt werden kann. Während der Einwirkung der Umgebung **204**, die in dieser Phase das zinnenthaltende Vorstufengas enthält, kann eine geeignete Temperatur beispielsweise im Bereich von der Raumtemperatur bis zu ungefähr 350 Grad C eingestellt werden, kann Kupferoxid in der Schicht **203b** gemäß der folgenden Formel reduziert werden:



Entsprechend dieser Reduktionsreaktion kann eine Kupferzinnlegierung gebildet werden, wobei die Reaktion ein thermisch aktivierter Prozess ist, wobei im Wesentlichen eine Schädigung der Oberfläche **203a** vermieden wird. Somit kann die anfängliche Kristallstruktur des Kupfers in dem Gebiet **203** im Wesentlichen beibehalten werden, im Gegensatz zu konventionellen Lösungen, in der die Behandlung mit einem äußerst reaktiven Plasma erforderlich ist.

**[0024]** [Fig. 2b](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einem fortgesetzten Stadium, in welchem die gasförmige Umgebung **204** geändert wird, so dass diese nunmehr zusätzlich oder alternativ zu dem zinnenthaltenden Vorstufenmaterial ein nickelenthaltendes Gas, etwa ein nickel- und kohlenmonoxidhaltendes Gas ( $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ) aufweist, das teilweise gemäß der folgenden Formel zerfällt:



**[0025]** Folglich kann sich atomares Nickel auf der Kupferzinnlegierung absetzen, um damit Nickel und eine zinnenthaltende Kupferlegierung gemäß der folgenden Formel zu bilden:



**[0026]** Der Einbau von Nickel in die Kupferzinnlegierung in der Oberfläche **203a** in der gasförmigen Umgebung **204** ist ebenso eine thermisch aktivierte Reaktion, wobei eine geeignete Reaktionstemperatur im Bereich von Raumtemperatur bis ungefähr 400 Grad C eingestellt werden kann, um in geeigneter Weise den Wachstumsprozess für die zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung einzustellen. Beispielsweise kann für eine vorgegebene Dicke der anfänglichen Kupferoxidschicht **203b**, beispielsweise in dem oben definierten Bereich, die entgeltliche Zusammensetzung der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung, die nunmehr als **203c** bezeichnet ist, auf der Grundlage von Prozessparametern zum Einrichten der gasförmigen Umgebung **204** eingestellt werden, wobei beispielsweise in der anfänglichen Phase, die in [Fig. 2a](#) gezeigt ist, die Prozessparameter, beispielsweise die Prozesszeit für eine vorgegebene Temperatur und Gaskonzentration, so ausgewählt werden können, dass im Wesentlichen eine vollstän-

dige Reduzierung des Kupferoxids erreicht wird. Danach kann die gasförmige Umgebung **204** modifiziert werden, wie dies in [Fig. 2b](#) gezeigt ist, wobei auf der Grundlage der Prozesstemperatur, die Durchflussrate für das nickelenthaltende Vorstufengas, die Durchflussrate von Kohlenmonoxid, wenn dieses separat der Umgebung **204** zugeführt wird, die Prozesszeit, und dergleichen entsprechend eingestellt werden können, um das Verhältnis von Nickel innerhalb der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung **203c** zu steuern. Entsprechende Prozessparameter können effizient auf der Grundlage entsprechender Untersuchungen bestimmt werden, wobei beispielsweise geeignete Prozessparameterwerte für die spezifizierte Prozesskammer, die zum Errichten der gasförmigen Umgebung **204** verwendet wird, bestimmt werden können, da die entsprechenden Parameter von der Konfiguration der Prozesskammer abhängen können. Beispielsweise können unterschiedliche Nickelanteile sowie die Eigenschaften der resultierenden zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung im Hinblick auf die Prozessparameterwerte untersucht werden, die in vorhergehenden Testuntersuchungen verwendet wurden, und es können geeignete Sollwerte sodann entsprechend den Bauteilertordernissen ausgewählt werden. Nach der Herstellung der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung an der Oberfläche des Gebiets **203**, wobei die resultierende Schicht als eine leitende Deckschicht betrachtet werden kann, die im Weiteren auch als **203c** bezeichnet wird, kann der Fertigungsprozess fortgesetzt werden, indem ein geeignetes dielektrisches Material abgedeckt wird, wie dies für die Herstellung einer weiteren Metallisierungsschicht erforderlich ist.

**[0027]** [Fig. 2c](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** nach dem Abscheiden einer dielektrischen Schicht **208**, die in anschaulichen Ausführungsformen ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  aufweisen kann. In einigen Ausführungsformen umfasst die dielektrische Schicht **208** eine optionale Ätzstoppschicht oder Ätzindikatorschicht **209**, die gemäß der vorliegenden Erfindung im Hinblick auf die ätzspezifischen Eigenschaften ausgewählt werden kann, anstatt die Auswahl der Ätzstoppschicht **209** im Hinblick auf ihre Barrieren- und Hafteigenschaften zu treffen, wie dies in konventionellen Techniken der Fall ist. Beispielsweise kann die optionale Ätzstopp- oder Ätzindikatorschicht **209** aus Siliziumdioxid aufgebaut sein, das beispielsweise mit Flour dotiert sein kann, um die relative Permittivität zu reduzieren. In anderen Ausführungsformen kann ein anderes geeignetes Material eingesetzt werden, wohingegen in anderen anschaulichen Ausführungsformen die dielektrische Schicht **208** im Wesentlichen als eine zusammenhängende Schicht vorgesehen werden kann, ohne dass die optionale Schicht **209** gebildet wird, wobei die Schicht **208** aus einem dielektrischen Material mit kleinem  $\epsilon$  aufgebaut sein kann. In einer Ausführungsform kann das Abscheiden der Schicht **208** und, falls

diese vorgesehen ist, der Schicht **209** in der gleichen Prozesskammer durchgeführt werden, wie sie auch für die vorhergehende Herstellung der Deckschicht **203c** verwendet wird, d. h. für das Errichten der gasförmigen Umgebung **204**, verwendet wird.

**[0028]** D. h. also, die vorliegende Erfindung stellt eine verbesserte Technik zu der Herstellung einer zuverlässigen und leitenden Deckschicht in einer selbstjustierten Weise bereit, wobei eine gut erprobte zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung auf der Grundlage einer gasförmigen Umgebung gebildet wird, in der die Umwandlung von Kupferoxid durch eine thermische Reaktion in Gang gesetzt wird, wodurch plasmainduzierte Schäden des darunter liegenden Metalls reduziert werden. Ferner kann durch entsprechendes Anpassen der Prozessparameter der gasförmigen Umgebung **204** eine weite Bandbreite an Werten für das Verhältnis von Kupfer, Zinn und Nickel ausgewählt werden, wobei die gute Steuerbarkeit des Herstellungsprozesses für eine verbesserte Prozessstabilität im Vergleich zu konventionellen Strategien zur Herstellung von Silizium oder stickstoffbasierten Legierungen oder wolfram- und phosphorbasierten Legierungen erreicht werden kann. Ferner liefern die guten chemischen, mechanischen und elektrischen Eigenschaften der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung die Möglichkeit, das Bauteilverhalten beispielsweise im Hinblick auf die Zuverlässigkeit auf Grund eines verbesserten Elektromigrationsverhaltens zu steigern. Es sollte beachtet werden, dass in den zuvor dargelegten Ausführungsformen auf die Metallisierungsschicht **207** Bezug genommen wird, in der das kupferenthaltende Metallgebiet **203** eine Metalleitung repräsentiert. Es sollte jedoch beachtet werden, dass die Metallisierungsschicht **207** in anderen Ausführungsformen einen beliebigen Bauteilbereich repräsentieren kann, in welchem ein kupferenthaltendes Metallgebiet gebildet ist, das zumindest an einem Oberflächenbereich davon eine zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung erhalten soll. Daher sollte die vorliegende Erfindung nicht als auf die Herstellung von Kupfergebieten in Metallisierungsschichten eingeschränkt betrachtet werden, sofern derartige Einschränkungen nicht speziell in den angefügten Patentansprüchen und der Beschreibung dargelegt sind. Wie zuvor erläutert ist, kann das Gebiet **203** typischerweise mehrere Oberflächenbereiche aufweisen, von denen einer durch die Schicht **203c** repräsentiert ist, während andere Oberflächenbereiche typischerweise von der Barrierenschicht **202** bedeckt sind. Wie zuvor darauf hingewiesen wurde, kann die Barrierenschicht **202** ebenso aus einer zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung hergestellt sein, um damit als eine effiziente Diffusionsbarriere im Hinblick auf das umgebende dielektrische Material zu dienen, das durch die Schicht **207** und das darunter liegende Substrat **201** repräsentiert sein kann.

[0029] Mit Bezug zu den [Fig. 2d](#) bis [Fig. 2h](#) wird eine weitere Fertigungssequenz auf der Grundlage des Bauelements **200**, wie es in [Fig. 2c](#) gezeigt ist, für die Herstellung einer leitenden Barrierenschicht, etwa der Schicht **202**, beschrieben, wobei mehrere Oberflächenbereiche eines kupferenthaltenden Metallgebiets mit einer entsprechenden zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung versehen werden. In den folgenden anschaulichen Ausführungsformen wird auf die Herstellung einer Kontaktdurchführung und einer Metalleitung gemäß einer dualen Damaszener-Technik als ein beispielhafter Prozessablauf zur Herstellung einer leitenden Barrierenschicht Bezug genommen. Jedoch können andere Strategien, etwa eine Einzel-Einlegetechnik ebenso gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung angewendet werden.

[0030] [Fig. 2d](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einem weiter fortgeschrittenen Herstellungsstadium, in welchem eine Kontaktlochöffnung **210** in der dielektrischen Schicht **208** gebildet ist, wobei die Kontaktlochöffnung **210** sich in die Deckschicht **203c** erstrecken kann. Die Kontaktlochöffnung **210** kann durch einen anisotropen Ätzprozess auf der Grundlage gut etablierter Photolithographieverfahren hergestellt werden, wobei in einigen Ausführungsformen die dielektrische Schicht **208** ohne eine Ätzstopp- oder Ätzindikatorschicht vorgesehen sein kann, da der Ätzprozess auf der Grundlage der Barrierenschicht **203c** gesteuert werden kann. Beispielsweise kann das Freisetzen von Nickel, Kupfer, Zinn, als Indikator für das Steuern des Ätzprozesses auf der Grundlage optischer Spektroskopie verwendet werden. Gut etablierte Ätzrezepte zum Ätzen durch eine Vielzahl dielektrischer Materialien mit kleinem  $\epsilon$  können verwendet werden, wobei die Schicht **203c** als eine Ätzstoppschicht dient. Auf Grund der moderat hohen Leitfähigkeit der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung in der Schicht **203c** kann ein gewisser Betrag an Ungleichförmigkeit hinsichtlich der Eindringtiefe über das Substrat **201** hinweg unter Umständen im Hinblick auf die negativen Auswirkungen auf die resultierende Verbindungsstruktur als gering erachtet werden, da eine Variation der Eindringtiefe, selbst wenn sich die Kontaktlochöffnungen **210** vollständig durch die Schicht **203c** erstrecken, im Wesentlichen in einem nachfolgenden Metallfüllprozess kompensiert werden können.

[0031] [Fig. 2e](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einem weiter fortgeschrittenen Fertigungsstadium. Hier ist ein Graben **211** über der Kontaktlochöffnung **210** ausgebildet, wobei, wie zuvor erläutert ist, beachtet werden sollte, dass andere Strategien benutzt werden können, beispielsweise kann die nachfolgend beschriebene Sequenz zur Herstellung einer leitenden Barrierenschicht auch auf die Kontaktlochöffnung **210** angewendet werden, ohne dass der Graben **211** gebildet wird. Des weiteren ist

an inneren Wänden der Kontaktlochöffnungen **210** und dem Graben **211**, d. h. an entsprechenden Oberflächenbereichen davon, und an horizontalen Bereichen der dielektrischen Schicht **208** eine Kupferoxidschicht **212** gebildet. In einer anschaulichen Ausführungsform kann die Kupferoxidschicht **212** hergestellt werden, indem zunächst eine Kupferschicht, beispielsweise auf der Grundlage physikalischer Dampfabscheidung, etwa einer Sputter-Abscheidung oder einer stromlosen Abscheidung, oder einer anderen geeigneten Abscheidetechnik hergestellt werden. Beispielsweise sind gut etablierte Sputter-Abscheiderezepte für moderne Halbleiterbauelemente verfügbar, die in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können. Danach kann das Halbleiterbauelement **200** der Einwirkung einer oxidierenden Umgebung **213** ausgesetzt werden, um das abgeschiedene Kupfer in Kupferoxid umzuwandeln. In anderen anschaulichen Ausführungsformen kann Kupfer in Anwesenheit der oxidierenden Umgebung **213** abgeschieden werden, wodurch Kupferoxid beim Abscheiden des Kupfers auf freiliegenden Oberflächen des Bauelements **200** gebildet wird. Beispielsweise kann in einer Sputter-Abscheidungsanlage eine oxidierende Umgebung während des Abscheidens eingerichtet werden, wobei eine Oxidation des Targetmaterials nicht negativ den Abscheidungsprozess beeinflusst, da das sich auf dem Targetmaterial ausbildende Kupferoxid kontinuierlich auf Grund des Ionenbeschusses des ionisierten Trägergases entfernt wird. Eine entsprechende unmittelbare Oxidation des abgeschiedenen Kupfers kann vorteilhaft sein im Hinblick auf eine Kupferdiffusion in die dielektrische Schicht **208**, wodurch eine unerwünschte Kontamination von Bauteilbereichen reduziert wird. In anderen anschaulichen Ausführungsformen kann eine Kupferdiffusionsbarriere in einer oder mehreren tieferliegenden Metallisierungsschichten vorgesehen werden, wodurch in effizienter Weise die Diffusion von Kupfer in empfindliche Halbleiterbereiche vermieden wird, selbst wenn ein gewisses Maß an Kupferdiffusion während der Herstellung der Kupferoxidschicht **212** auftreten kann.

[0032] [Fig. 2e](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einem weiter fortgeschrittenen Herstellungsstadium, in welchem eine gasförmige Umgebung eingerichtet ist, beispielsweise in ähnlicher Weise wie die Umgebung **204**, um damit Zinnhydrid und Nickel und kohlenmonoxidhaltende Vorstufengase aufeinanderfolgend oder überlappend oder gleichzeitig bereitzustellen, um das Kupferoxid in der Schicht **212** in eine entsprechende zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung umzuwandeln, wie dies auch mit Bezug zu der Schicht **203c** beschrieben ist. Somit ist die Barrierenschicht **212** nunmehr im Wesentlichen aus der äußerst leitfähigen zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung aufgebaut, die die erforderlichen chemischen, mechanischen und elektrischen Eigenschaften zur Bereitstellung des Kup-

fers in den Graben **211** und in der Kontaktlochöffnung **210** besitzt. In einer anschaulichen Ausführungsform kann die Schicht **212** als eine Saatschicht oder Katalysatorschicht für einen nachfolgenden elektrochemischen Abscheidvorgang, etwa eine Elektroplattierung oder stromlose Plattierung, verwendet werden. In anderen anschaulichen Ausführungsformen kann eine weitere Saatschicht (nicht gezeigt) auf der Barrierenschicht **212** vor einer nachfolgenden elektrochemischen Abscheidung von Kupfer gebildet werden.

**[0033]** [Fig. 2g](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement nach dem Abscheiden des Kupfers, wodurch eine Kupferschicht **214** gebildet wird. Nachfolgend wird überschüssiges Material der Schicht **214** und auch der Schicht **212** auf der Grundlage von elektrochemischen Polierverfahren und/oder CMP auf der Grundlage gut etablierter Rezepte entfernt.

**[0034]** [Fig. 2h](#) zeigt schematisch das Halbleiterbauelement **200** in einem weiter fortgeschrittenen Herstellungsstadium nach dem Entfernen von überschüssigen Materialien, wodurch eine Metalleitung **215**, die mit einer entsprechenden Kontaktdurchführung **216** verbunden ist, als kupferenthaltende Metallgebiete bereitgestellt werden, wobei entsprechende Oberflächenbereiche der Metalleitung **215** und der Kontaktdurchführung **216** durch die gut leitende Barrierenschicht **212** mit der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung gebildet sind. Ferner kann eine Deckschicht **215c** an einem oberen Oberflächenbereich der Metalleitung **215** gebildet werden, wobei die Deckschicht **215c** aus einer zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung aufgebaut sein kann, die im Wesentlichen in der gleichen Weise hergestellt werden kann, wie dies zuvor mit Bezug zu der Deckschicht **203c** (siehe [Fig. 2e](#)) beschrieben ist. Folglich können die mehreren Oberflächenbereiche der Metalleitung **215** und der Kontaktdurchführung **216** in zuverlässiger Weise durch die zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung abgedeckt werden, wodurch ein erhöhtes Leistungsvermögen im Hinblick auf die Leitfähigkeit und Zuverlässigkeit erreicht wird, da die Barrierenschicht **212** eine deutlich höhere Leitfähigkeit im Vergleich zu konventionellen leitenden Barrierenschichten besitzt, wohingegen die Deckschicht **215c** für verbesserte Elektromigrationseigenschaften im Vergleich zu konventionellen dielektrischen Deckschichten sorgt.

**[0035]** Es gilt also: Die vorliegende Erfindung stellt eine neue Technik bereit, um eine zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung auf entsprechenden Oberflächenbereichen eines kupferenthaltendes Metallgebiets zu bilden, wodurch verbesserte mechanische, elektrische und chemische Eigenschaften im Vergleich zu konventionellen Deckschichten und Barrierenschichten erreicht werden. Zu diesem Zwecke kann eine Kupferoxidschicht auf einer oder mehreren freiliegenden Oberflächenbereichen eines betrachte-

ten Metallgebiets gebildet werden, die nachfolgend in die zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung auf der Grundlage geeigneter Vorstufengase in einer gasförmigen Umgebung umgewandelt wird, wobei die gesamte Prozesssequenz eine thermisch aktivierte Reaktion ist, wodurch plasmainduzierte Schäden auf dem darunter liegenden kupferenthaltenden Metall vermieden oder reduziert werden. Ferner kann in einigen anschaulichen Ausführungsformen die Herstellung der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung mit dem Abscheiden eines geeigneten dielektrischen Materials kombiniert werden, was in einer einzelnen Prozesskammer bewerkstelligt werden kann, wodurch ein in-situ-Prozess bereitgestellt wird und ebenso zu einer reduzierten Prozesskomplexität beigetragen wird, wobei dennoch ein verbessertes Leistungsverhalten erreicht wird.

**[0036]** Weitere Modifizierungen und Variationen der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann angesichts dieser Beschreibung offenkundig. Daher ist diese Beschreibung als lediglich anschaulich und für die Zwecke gedacht, dem Fachmann die allgemeine Art und Weise des Ausführens der vorliegenden Erfindung zu vermitteln. Selbstverständlich sind die hierin gezeigten und beschriebenen Formen der Erfindung als die gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen zu betrachten.

### Patentansprüche

1. Verfahren mit:  
Bilden eines kupferenthaltendes Metallgebiets in einer ersten dielektrischen Schicht einer Metallisierungsschicht eines Halbleiterbauelements, wobei das kupferenthaltende Metallgebiet eine freiliegende oxidierte Oberfläche aufweist; und  
Aussetzen der freiliegenden oxidierten Oberfläche der Einwirkung einer gasförmigen Umgebung zum Umwandeln der oxidierten Oberfläche in eine zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die gasförmige Umgebung zumindest zeitweilig ein Zinnhydridgas ( $\text{SnH}_4$ ) umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die gasförmige Umgebung zumindest zeitweilig ein nickel- und kohlemonoxidhaltendes Gas aufweist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner Abscheiden einer zweiten dielektrischen Schicht auf der ersten dielektrischen Schicht und der zinn- und nickelenthaltenden Legierung umfasst.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die zweite dielektrische Schicht in-situ mit der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung gebildet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner Behan-

deln des kupferenthaltenden Metallgebiets in einer oxidierenden Umgebung umfasst, um die freiliegende oxidierte Oberfläche zu bilden.

7. Verfahren mit:

Bilden einer Öffnung in einer dielektrischen Schicht eines Halbleiterbauelements;  
Bilden eines Kupferoxids an inneren Wänden der Öffnung;  
Umwandeln des Kupferoxids in eine leitende Barrierenschicht mit einer zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung durch Aussetzen des Halbleiterbauelements der Einwirkung einer gasförmigen Umgebung, um die leitende Barrierenschicht zu bilden;  
und  
Füllen der Öffnung mit einem kupferenthaltenden Metall.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die gasförmige Umgebung zumindest zeitweilig ein Zinnhydridgas ( $\text{SnH}_4$ ) aufweist.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die gasförmige Umgebung zumindest zeitweilig ein nickel- und kohlenmonoxidhaltendes Gas aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 7, wobei Bilden der Kupferoxidschicht Abscheiden von Kupfer und Einbringen des Halbleiterbauelements in eine oxidierende Umgebung umfasst.

11. Verfahren nach Anspruch 7, wobei Bilden der Kupferoxidschicht Abscheiden von Kupfer in einer oxidierenden Umgebung umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 7, wobei Füllen der Öffnung mit einem kupferenthaltenden Metall umfasst: Bilden des Metalls mittels eines elektrochemischen Prozesses und Entfernen von überschüssigem Material des kupferenthaltenden Metalls und der Barrierenschicht außerhalb der gefüllten Öffnung, um eine freiliegende Metalloberfläche zu bilden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, das ferner Behandeln der freiliegenden Metalloberfläche zur Bildung von Kupferoxid darauf umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 13, das ferner umfasst: Behandeln der freiliegenden kupferoxidhaltenden Oberfläche in einer gasförmigen Umgebung, um eine zinn- und nickelenthaltende Legierung auf der freiliegenden Oberfläche zu bilden.

15. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das kupferenthaltende Metall auf der leitenden Barrierenschicht abgeschieden wird.

16. Verfahren nach Anspruch 12, wobei Füllen der Öffnung mit einem kupferenthaltenden Metall Bilden einer Saatschicht auf der Barrierenschicht um-

fasst.

17. Halbleiterbauelement mit:  
einem kupferenthaltenden Metallgebiet, das in einem dielektrischen Material eingebettet ist, wobei das kupferenthaltende Metallgebiet mehrere Oberflächenbereiche aufweist, wobei mindestens einer der mehreren Oberflächenbereiche des kupferenthaltenden Metallgebiets eine zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung aufweist, die eine Grenzfläche mit dem dielektrischen Material bildet.

18. Halbleiterbauelement nach Anspruch 17, wobei das kupferenthaltende Metallgebiet mindestens einen Oberflächenbereich aufweist, der von einer leitenden Barrierenschicht mit einer unterschiedlichen Materialzusammensetzung im Vergleich zu der zinn- und nickelenthaltenden Kupferlegierung bedeckt ist.

19. Halbleiterbauelement nach Anspruch 17, wobei jeder der mehreren Oberflächenbereiche die zinn- und nickelenthaltende Kupferlegierung aufweist.

20. Halbleiterbauelement nach Anspruch 17, wobei das dielektrische Material ein dielektrisches Material mit kleinem  $\epsilon$  mit einer relativen Permittivität von 3,0 oder weniger aufweist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

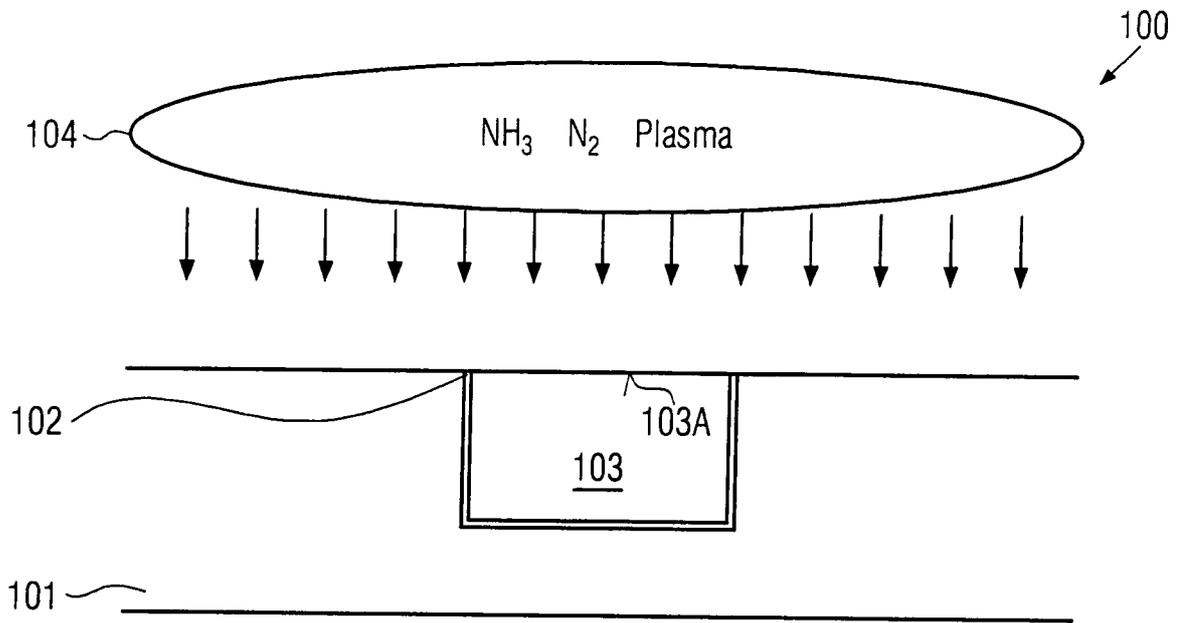


FIG. 1a  
(Stand der Technik)

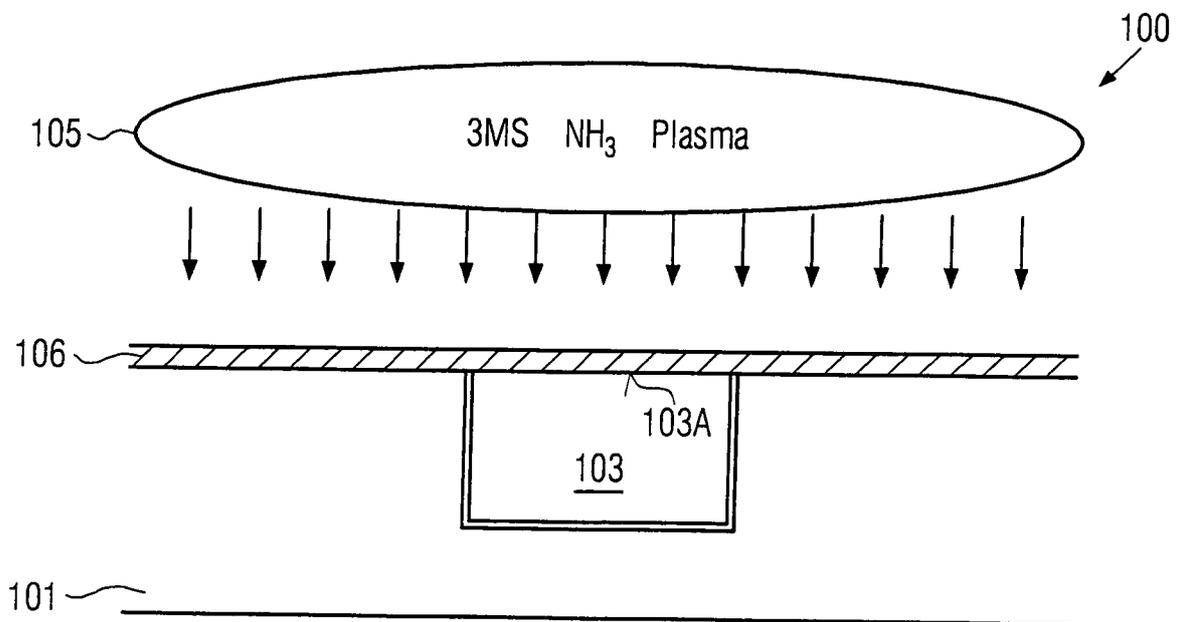


FIG. 1b  
(Stand der Technik)

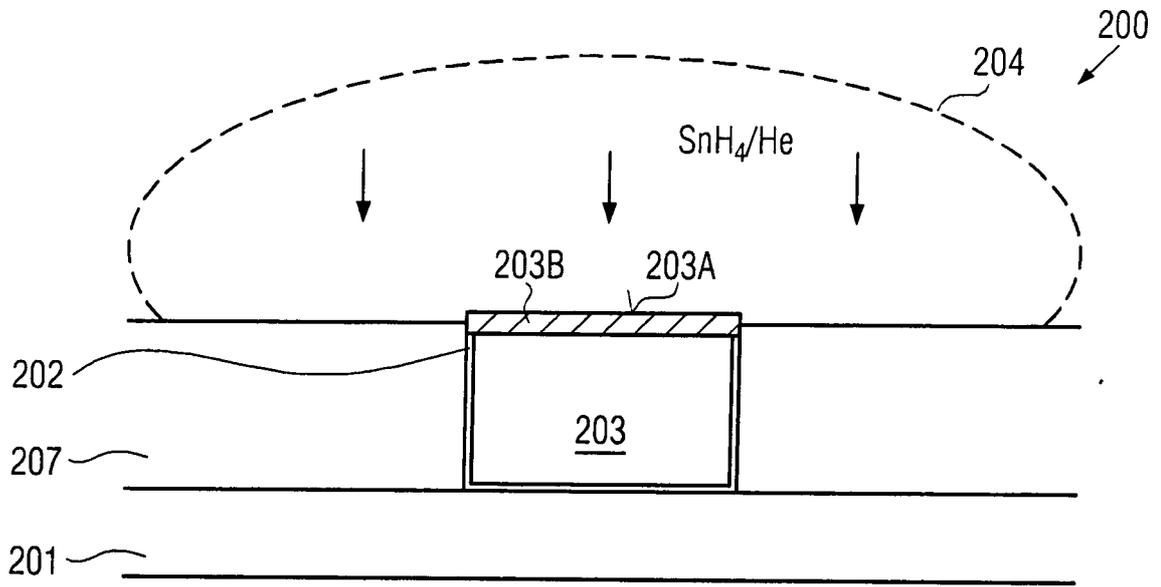


FIG. 2a

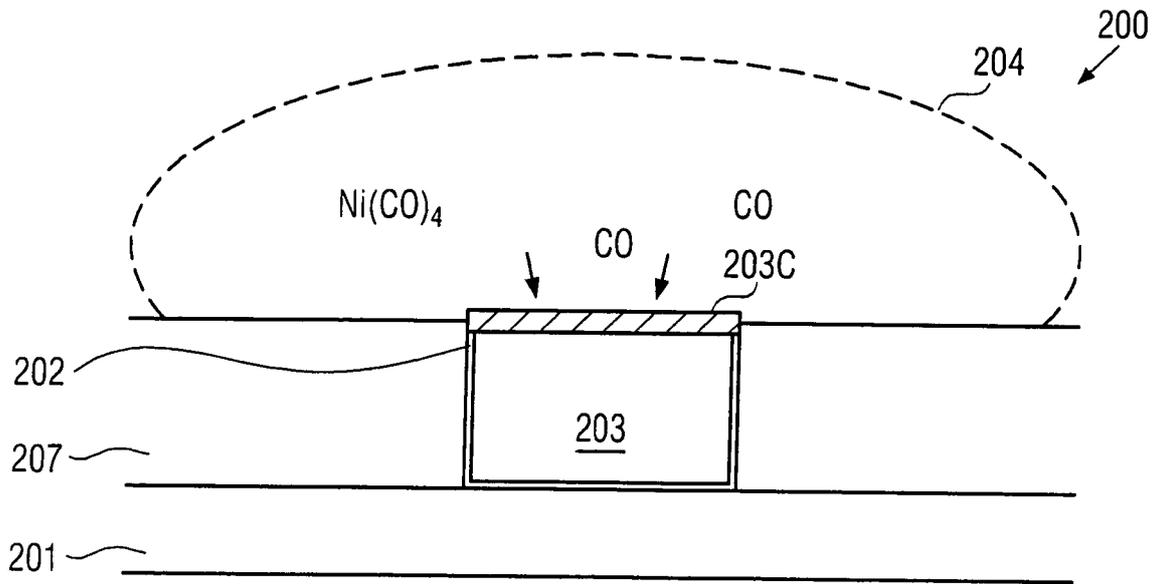


FIG. 2b

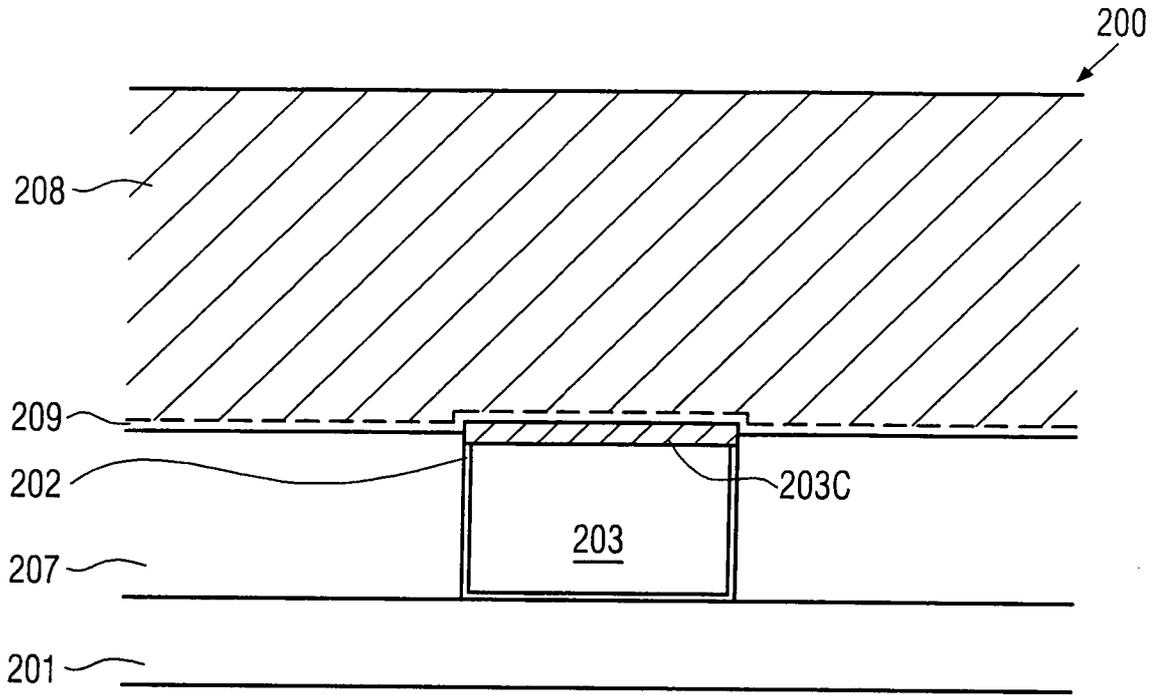


FIG. 2c

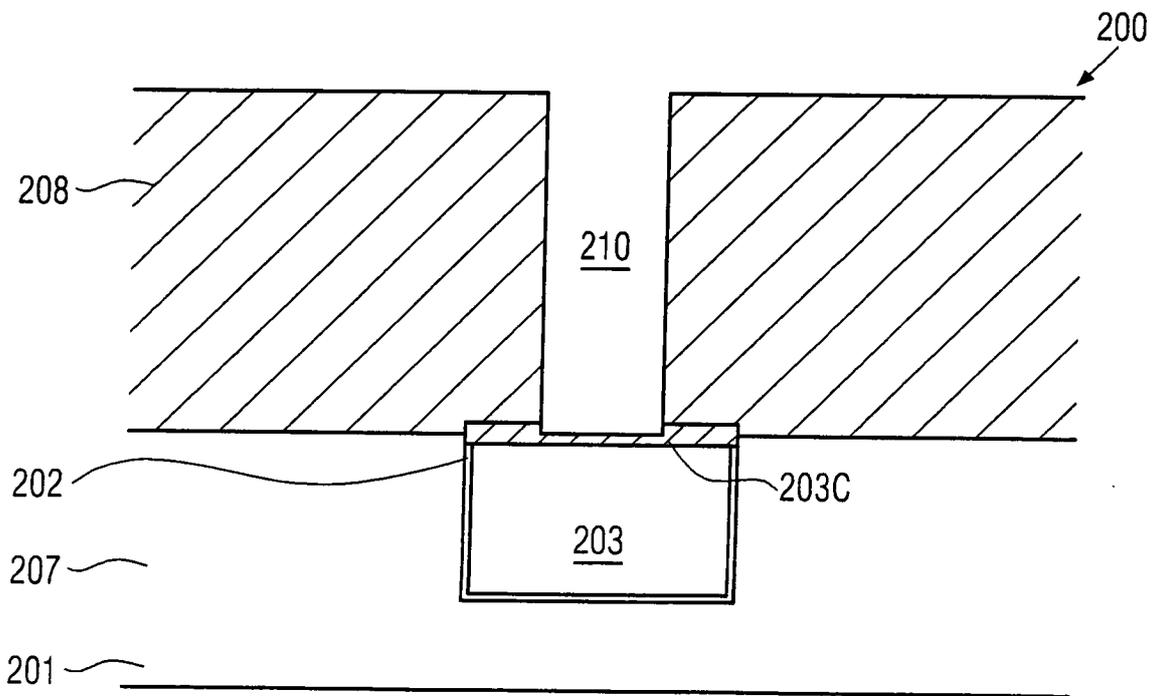


FIG. 2d

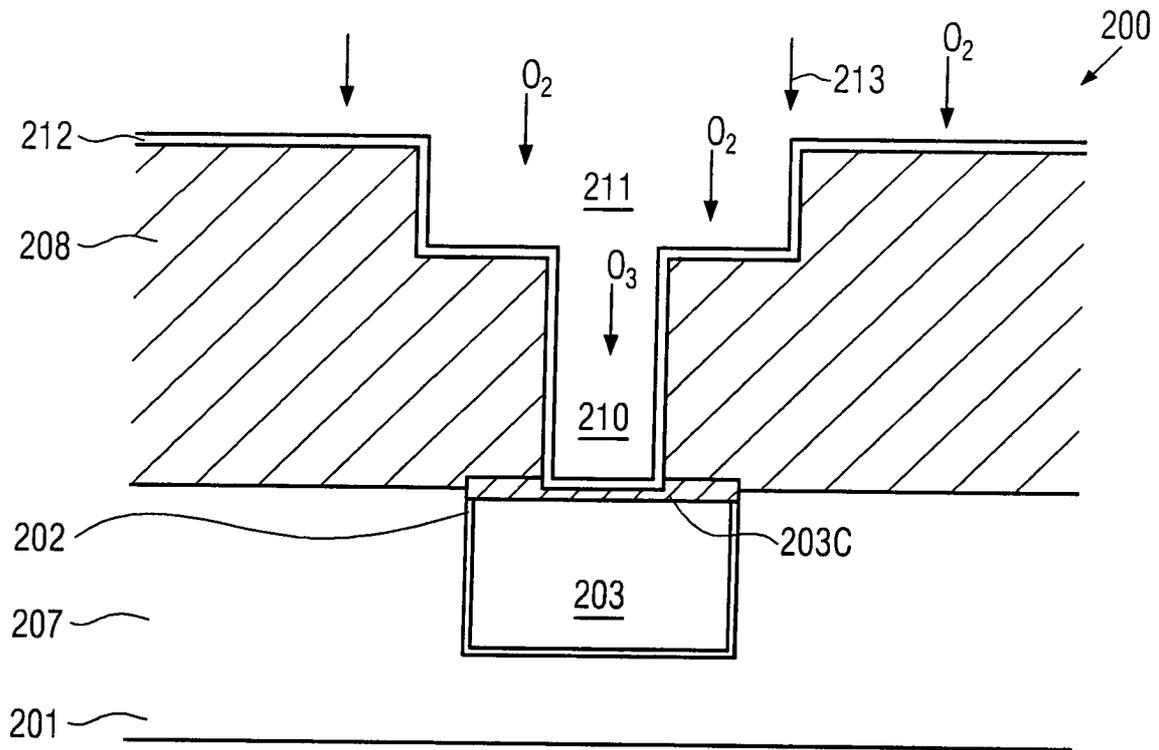


FIG. 2e

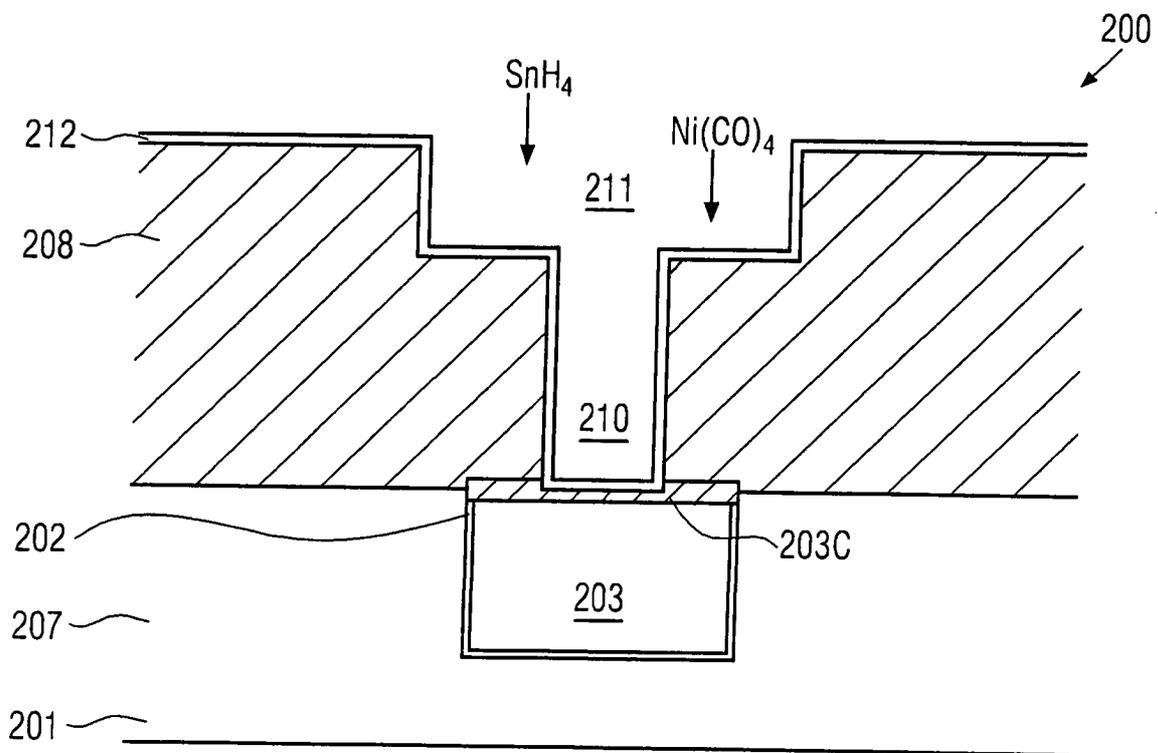


FIG. 2f

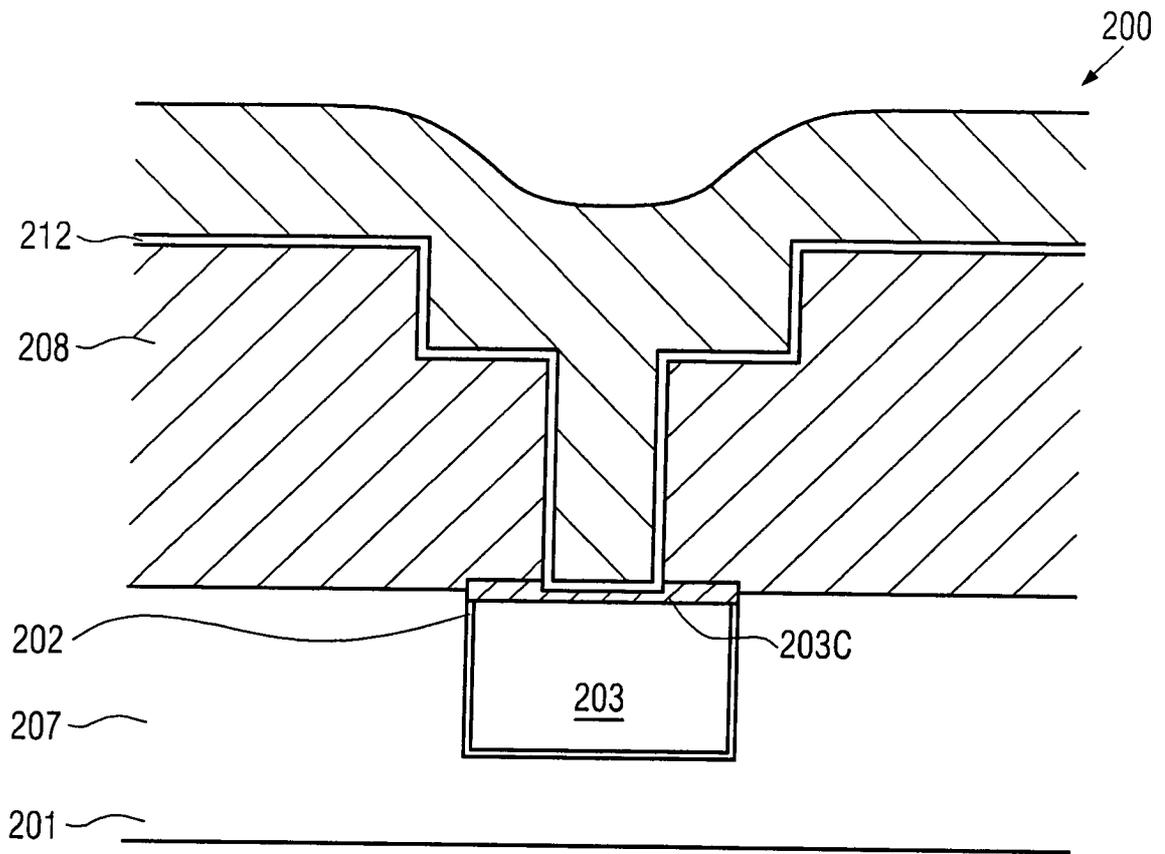


FIG. 2g

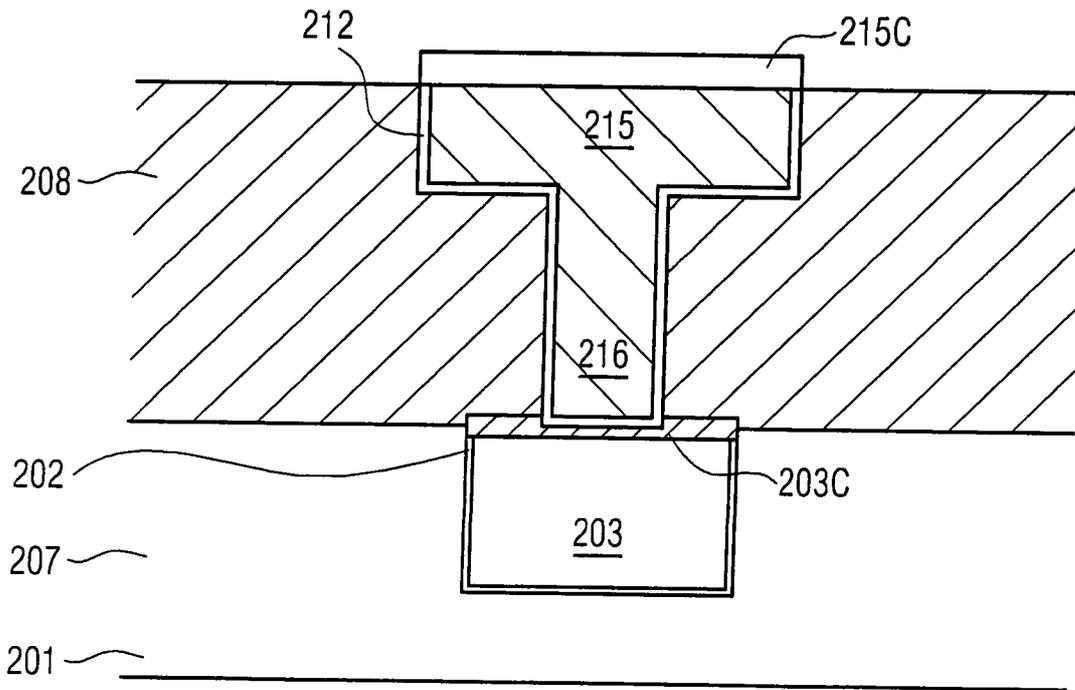


FIG. 2h